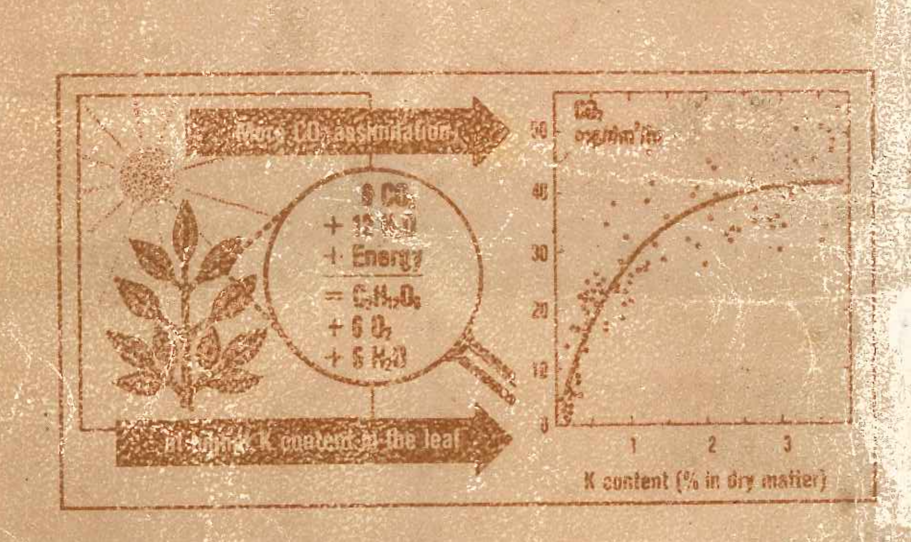
ليم العالي والبحث العلمي
معة البصرة



التسميد وخصوبة التربة



تأليف
الدكتور كاظم مشحوت عواد



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة البصرة

التسميد وخصوبة التربة

تأليف
الدكتور كاظم مشحوت عوّاد

كلية الزراعة - جامعة البصرة

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

بسم الله الذي علم الأنسان مالم يعلم ، أقدم هذا الجهد المتواضع داعي الله عز وجل أن يكون خير طريق لتطوير القابليات العلمية وتوضيح بعض الاسس العلمية لعلوم التربة التي ترتبط بالأنتاج الزراعي .

فقد عولج ضمن مفردات هذا الكتاب محتوى الترب من العناصر الغذائية (المغذيات) ودورها في حياة النبات النامي في الترب وتأثير خصائص الترب الكيمياوية والفيزياوية على صور وسلوك المغذيات في التربة وجاهزيتها للنباتات . وكان لابد من مناقشة أسلوب معالجة نقص هذه المغذيات لتجنب التأثير السلبي على إنتاجية المحاصيل الزراعية . لذا فقد تم أيضاح انواع الأسمدة الكيمياوية والعضوية وطرق تصنيعها وبعض خصائصها الهامة مع تحديد طريقة وموعد وكمية أضافة هذه الأسمدة وتأثير خواص التربة على أسلوب تحللها بعد الاضافة وكفائتها للمحاصيل الزراعية المختلفة . إن محاولة ربط جميع الحلقات الخاصة بسلوك العناصر الغذائية في التربة ودورها في تغذية النبات النامي كانت تتطلب التركيز في شرح الأسس العلمية لجميع الفقرات التي بينت عليها مفردات الكتاب مع أغنائها بالدراسات التطبيقية التي أجريت في العراق أو في الوطن العربي أو في بلدان العالم الأخرى .

أتمنى ان يحقق هذا الكتاب الفائدة التي أرجوها لطلبتنا في كليات الزراعة مع الأمل أن يكون هذا المرجع عوناً لهم في دراستهم وزيادة قدرتهم في البحث والاطلاع .

والله الموفق

المؤلف

المحتويات .... الصفحة

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الكبريت ـ الكالسيوم ـ المغنيسيوم

الفصل السابع

الفصل الثامن

الفصل الأول

العناصر الغذائية وخصوبة التربة

تعريف وتقسيم العناصر الغذائية

يحتاج النبات الى الغذاء كأي كائن حيّ لكي يقوم بعملياته الحيوية الخاصة بنشاطه ونموه. كما إن الغذاء يساهم في بناء أنسجة tissues النبات التي تتكون من الكاربوهيدرات Carbohydrates والدهون fats والبروتينات proteins و nucleoproteins. ويحتاج النبات لتكوين مثل هذه المكونات الى أنزيمات enzymes خاصة يساهم الغذاء ايضاً في تكوينها. إنّ غذاء النبات عبارة عن عناصر معدنية يطلق عليها بالعناصر الغذائية وهي تجهز للنبات من التركيب الكيمياوي للماء والهواء والتربة. وهذا يعني إنه لايمكن تسميه جميع العناصر الكيمياوية الداخلة في تركيب القشرة الارضية وهواء التربة والماء بالمغذيات بل يحدد ذلك احتياج النبات ومدى مساهمة هذه العناصر في بناء أنسجة النبات. لذا فإن الاسس التالية يمكن اعتبارها حدا فاصلا للتمييز بين العناصر الكيمياوية المختلفة والعناصر الغذائية المطلوبة لسد احتياجات النبات في دورة حياته:

(1) إن غياب العنصر الغذائي في وسط النمو يعرقل نمو النبات مما يؤثر وبشكل مباشر على دورة حياته.

(2) يشترك العنصر الغذائي في الهيكل البنائي لأنسجة النبات المختلفة وكذلك يساهم في العمليات الحيوية metabolic processes مثلا النظام الأنزيمي الذي يؤدي دورا هاما في تطوير مراحل نمو النبات.

(3) إن نقص أحد العناصر الغذائية وليس جميعها قد يؤثر بشكل أو بآخر على سير العمليات الحيوية ويظهر نتيجة ذلك عيوبا خاصة يطلق عليها بأعراض

نقص العنصر . وغالباً ماتظهر اعراض النقص بهيئة الوان خاصة او تحورات فسيولوجية معينة .

ووفقاً لما حدده (Arnon and Stout, 1939) فإن العناصر الغذائية التالية يمكن اعتبارها عناصر هامة للعمليات الحيوية اللازمة لنمو وتطور النبات :

Iron	Fe	الحديد	Carbon	C	الكاربون
Manganese	Mn	المنغنيز	Hydrogen	H	الهايدروجين
Copper	Cu	النحاس	Oxygen	O	الاوكسجين
Zinc	Zn	الزنك	Nitrogen	N	النايتروجين
Molybdenum	Mo	المولبيدنيوم	Phosphorus	P	الفسفور
Boron	B	البورون	Sulpher	S	الكبريت
Chlorine	Cl	الكلورين	Potassium	K	البوتاسيوم
(Sodium)	(Na)	(الصوديوم)	Calcium	Ca	الكالسيوم
(Silicon)	(Si)	(السيليكون)	Magnesium	Mg	المغنيسيوم
(Cobalt)	(Co)	(الكوبلت)			

وقد أضيف عنصر الكلورين الى قائمة العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات من قبل (Broyer et al. 1954) . أما العناصر الغذائية ، الصوديوم والسيليكون والكوبلت ـ فلا يمكن النظر اليها كعناصر غذائية ضرورية في معظم الاحوال . فأيون الصوديوم مثلاً يحتاجه بعض انواع النباتات خصوصا تلك النامية في ظروف ملحية بسبب توفر تركيزات عالية في مثل هذه الترب . واذا أستثنينا احتياج محصول البنجر السكري الى ايون الصوديوم كعنصر غذائي بالظروف الاعتيادية ومساهمته في زيادة انتاجه فأنه لا يمكن النظر اليه كذلك في الاحوال الأخرى . ويمكن شمول السيليكون بهذه الحقيقة إذ يعدُّ ضروريا لحد ما لنبات الرز .

يأخذ النبات بعض هذه العناصر الغذائية من الماء والهواء مثل الكاربون ـ الهايدروجين ـ والاوكسجين . إذ يتفاعل الماء مع ثاني اوكسيد الكاربون خلال عملية التركيب الضوئي لتكوين مواد كاربوهيدراتية بسيطة لتساهم مع الاحماض الامينية amino acids والبروتينات في بناء مكونات الخلية . إنَّ هذه العناصر الغذائية الثلاثة وعناصر غذائية أخرى مثل الفسفور ـ والنايتروجين ـ والكبريت التي تجهز من التربة تعتبر الاساس في بناء بروتوبلازم الخلية النباتية plant cell protoplasm . ولهذا فإن احتياج اي نبات من هذه العناصر الغذائية كبيرٌ بالمقارنة مع مايحتاجه من العناصر الغذائية الأخرى التي تدخل غالبا

في تركيب الانزيمات . إنّ النبات يحتاج الى العناصر الغذائية المختلفة يأخذ معظمها من التربة (بإستثناء الكاربون ـ الهايدروجين ـ الاوكسجين) لاكمال مراحل نموه وتطوره . لهذا فإن زراعة الارض سنة بعد أخرى تؤدي الى أن يستنفذ النبات معظم العناصر الموجودة فيها فتصبح فقيرة ويقل الحاصل لدرجة قد يصبح غير اقتصادي . ومن هذه النقطة تأتي اهمية الدراسة الدقيقة للعناصر الغذائية واحتياجات المحصول الزراعي اليها .

ووفقاً للاحتياجات المطلوبة من اي عنصر غذائي من قبل النباتات النامية فقد تم تقسيم العناصر الغذائية المختلفة الى قسمين :

1- العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients (Major nutrients)

وهي العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكمية كبيرة تقدر بحوالي بضع كيلوغرامات الى 200-300 كيلوغرام لكل هكتار وهي :

الكاربون والهايدروجين والاوكسجين والنايتروجين والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم و (الصوديوم ـ السيليكون) .

2- العناصر الغذائية الصغرى Micronutrients (Minor nutrients)

وهي العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات ولكن يحتاجها النبات بكميات تقدر بحوالي بضعة غرامات الى بضع مئات من الغرامات وتضم الآتي :

الحديد والمنغنيز والنحاس والزنك والمولبيدنيوم والبورون والكلورين والكوبلت والفانيديوم .

ويوضح جدول (١) معدل أحتياج العناصر الغذائية اللازمة لنمو المحاصيل الزراعية .

جدول (1) المعدل التقريبي لكميات العناصر الغذائية الصغرى والكبرى التي يحتاجها النبات (Cooke, 1975) .

العناصر الغذائية الكبرى		العناصر الغذائية الصغرى	
العنصر	الكمية كغم / هكتار	العنصر	الكمية غم / هكتار
النايتروجين	100	الحديد	600
البوتاسيوم	100	المنغنيز	600
الكالسيوم	50	الزنك	200
الفسفور	15	البورون	200
المغنيسيوم	15	النحاس	100
الكبريت	30	المولبيدنيوم	10
		الكوبلت	1

إن هذا التقسيم بني على اساس كمي معبر عن محتوى أنسجة النبات من العناصر الغذائية . لهذا يرى البعض عدم دقة هذا التقسيم وضرورة ربط أي تقسيم مقترح مع الاحتياجات الفسيولوجية الفعلية لاي عنصر غذائي. وهنالك أمثلة متعددة تشير الى أن محتوى أنسجة النبات لبعض العناصر الغذائية الصغرى مثل الحديد والمنغنيز يفوق أو يساوي محتوى النبات من الكبريت والمغنيسيوم وقد يكون هذا إما بسبب الاحتياج الفسيولوجي أو بسبب زيادة تركيز هذه العناصر في وسط النمو . لذا بدأ الأتجاه نحو محاولة تقسيم العناصر الغذائية وفقاً لسلوكها الكيمياوي وتأثيراتها الفسيولوجية (Mengel & Kirkby, 1982) .

مصادر العناصر الغذائية

إن من أهم المصادر التجهيزية للعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات والتي تساهم في تعويض مايفقد من محلول التربة هي : -

1- الطور الصلب لمكونات نظام التربة :

لو حاولنا إستبعاد جميع المصادر التجهيزية الأخرىٰ فإن الطور الصلب لمكونات نظام التربة يعتبر مخزناً لمعظم العناصر الغذائية عدا النايتروجين والكبريت . إن محتوى التربة من العناصر الغذائية يفوق مئات المرات احتياجات المحاصيل

المزروعة ولكن قدرة هذه العناصر للانطلاق الى محلول التربة لكي تصبح بحالة جاهزة للامتصاص من قبل أي نبات تحتاج الى وقت قد يتجاوز حدود موسم زراعة أي محصول . فعلى سبيل المثال لقد وجد (Pagel, 1983) إنَّ محتوى الفسفور الكلي في 600 عينة ترابية مختلفة يتراوح بين 0.3-100 طن فسفور لكل هكتار ولكن الكمية الجاهزة للامتصاص من قبل النبات لا تتجاوز 0.2% من الكمية الكلية . وهذا بالطبع يشير بوضوح الى حجم الاحتياطي الموجود من الفسفور في مثل هذه الترب . وعند دراستنا لمحتوى بعض الترب الزراعية في محافظة البصرة من الزنك Zinc الكلي ومقارنته مع الكمية القابلة للامتصاص من قبل الذرة الصفراء وجدنا ان هذه الكمية لا تزيد عن 0.5% من محتوى الزنك الكلي في الترب المدروسة (Awad, 1982) . ويعتبر الجزء المعدني من الطور الصلب ذا قدرة تجهيزية عالية للعديد من العناصر الغذائية المختلفة خلال عمليات التجويه لمكونات هذا الجزء .

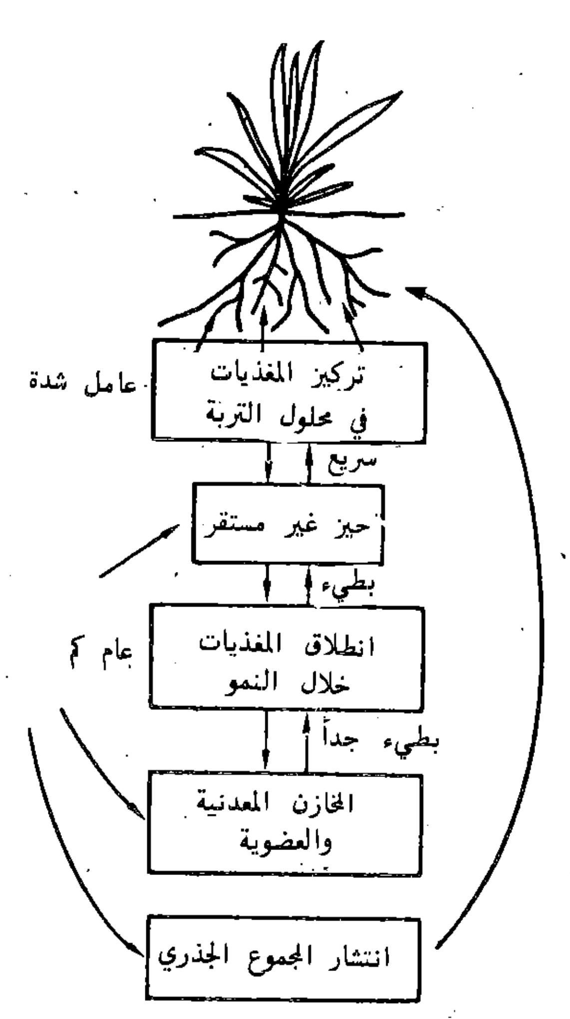
يمكن النظر بإهتام الى الجزء العضوي (المادة العضوية) من الطور الصلب وذلك لقدرتها التجهيزية لبعض العناصر الغذائية مثل النايتروجين والفسفور والكبريت وبعض العناصر الغذائية الصغرى . وتحتاج عملية انطلاق هذه العناصر من الجزء العضوي فترة من الزمن حتى لو توفرت الظروف المناسبة للتحلل .

وبالتأكيد فإن الكمية الذائبة في محلول التربة من أي عنصر لا تمثل الكمية الكلية لذلك العنصر بالتربة ، بل يتوزع العنصر الغذائي في مواقع مختلفة بالتربة ويكون ارتباطه بهذه المواقع محكوماً قواعد الاتزان الكيمياوي غالباً . لهذا فإن دراسة قدرة الطور الصلب لتعويض replenishment مايزال من محلول التربة يتطلب دراسة تركيب محلول التربة والطور الصلب معاً وتأثير ذلك على امداد العناصر الغذائية للنبات خلال فترة النمو . ويمكن القول إن وفرة العنصر الغذائي بالتربة لتلبية إحتياجات النبات لا تعتمد على تركيز العنصر في محلول التربة الذي يعبر عنه بعامل الشدة Intensity factor بل على المصادر التجهيزية للطور الصلب التي يعبر عنها بعامل الكم quantity factor يمكن تحديدها بالتالي :

(1) الكمية التي هي بحالة توازن سريع مع ماموجود في محلول التربة ــ مثل البوتاسيوم المتبادل والفسفور الممتص على السطح .
(2) الكمية التي هي بحالة توازن متوسط مع ماموجود في محلول التربة ــ مثل البوتاسيوم المثبت fixed-potassium والفسفور حديث الترسيب .
(3) الكمية التي هي بحالة توازن بطيء مع ماموجود في محلول التربة مثل النايتروجين والفسفور والكبريت المتواجد في تركيب المادة العضوية والذي

يحتاج الى فترة تحلل ، وكذلك المركبات القليلة الذوبان مثل مركبات الفوسفات وبعض العناصر الغذائية الصغرى . ويوضح الشكل (١) توزيع الفسفور في المواقع التجهيزية المختلفة وطبيعة التوازن بين هذه المواقع حسب وصف (William, 1970) .

إن قدرة المواقع التجهيزية المختلفة على تعويض ما يزال من محلول التربة بعد إمتصاصه من قبل النبات أو فقده بأي وسيلة كانت تعتمد على عامل هام ألا وهو قوة التربة التنظيمية Soil buffering power وهي عبارة عن مقياس دقيق جامع لخصائص التربة الكيمياوية والفيزياوية والبايلوجية . ويعبر عنها رياضياً بالآتي :

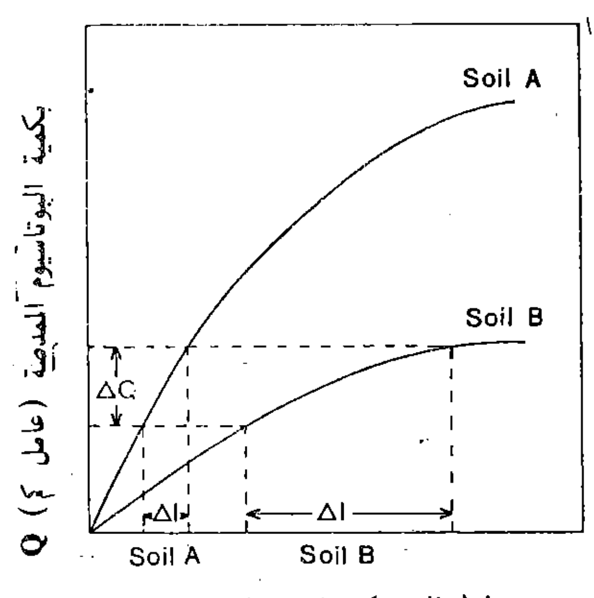


الشكل (1) التوازن الكيمياوي بين عامل الشدة وعامل الكم وعلاقته بالقدرة التجهيزية للمغذيات (Williams, 1970)

$$\text{قوة التربة التنظيمية} = \frac{\text{التغير في عامل الكم}}{\text{التغير في عامل الشدة}}$$

$$= \frac{\Delta Q}{\Delta I}$$

وتشير القيم العالية لهذه النسبة الى القوة التنظيمية العالية للتربة . وعند دراسة العلاقة بين تركيز ايونات البوتاسيوم في محلول التربة والكمية الممدصة في تربتين ذات سعة امتصاصية adsorption capacity مختلفة (شكل ـ 2) ، يمكن القول بإن ازالة كمية متساوية من البوتاسيوم الذائب في محلول التربتين لا يعني القدرة المتساوية لهذه الترب على التعويض . فالتربة « أ » تبدو ذات قدرة تنظيمية اكبر من التربة « ب »



تركيز ايون البوتاسيوم ity),I

في المحلول (عامل شدة) I

شكل (2) العلاقة بين تركيز البوتاسيوم في محلول التربة وعامل الكم في تربتين ذات سعة امدصاصية مختلفة .

2- الامطار

تعتبر الامطار من المصادر الطبيعية المجهزة للعناصر الغذائية ويوضح الجدول (3) التركيب الايوني للامطار الساقطة على بعض البلدان . لذا يمكن إعتبار الامطار مصدراً هاماً في تجهيز التربة ببعض العناصر الغذائية كالكبريت والنايتروجين مثلاً .

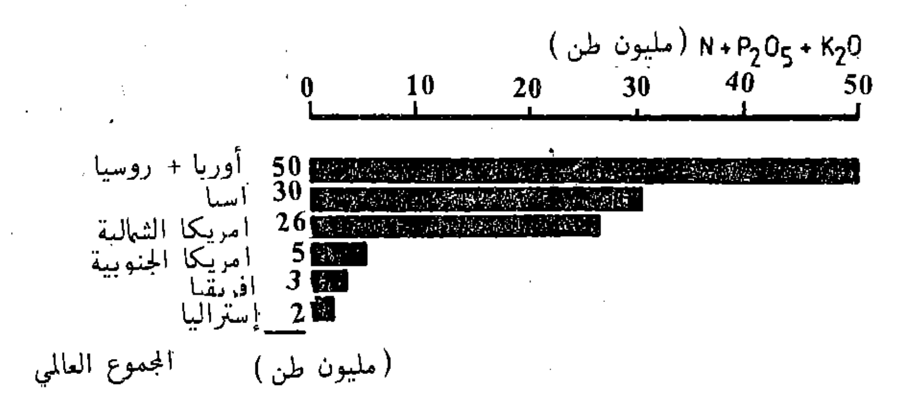
وفي المناطق الزراعية القريبة من المصانع يقل إستخدام الاسمدة الحاوية على الكبريت بسبب ماتضيفه الامطار من كميات قد تصل الى سد الاحتياجات المطلوبة من قبل المحاصيل المزروعة . وتقدر كمية الكبريت المضافة سنوياً الى التربة بواسطة الامطار بحوالي 15-100 كغم كبريت/ هكتار .

جدول (3) التركيب الايوني للامطار الساقطة سنوياً (استل من 1975 Cooke,) .

العنصر	السويد	النرويج	استراليا
	كغم عنصر/ هكتار		
نايتروجين/ امونيوم	4.0-0.7	6-0.8	0.7
نايتروجين/ نترات	0.8-0.15	-	0.5-0.8
فسفور	-	19-3	-
كبريت	-	8-0.8	(<2)
بوتاسيوم	3.5-1.1	14-3	0.3
كالسيوم	19-6	17-0.4	-
مغنيسيوم	-	148-0	0.2
صوديوم	30-4	257-1	1.1
كلورين	40-2.5	-	1.8-1.6

3- الاسمدة الكيمياوية

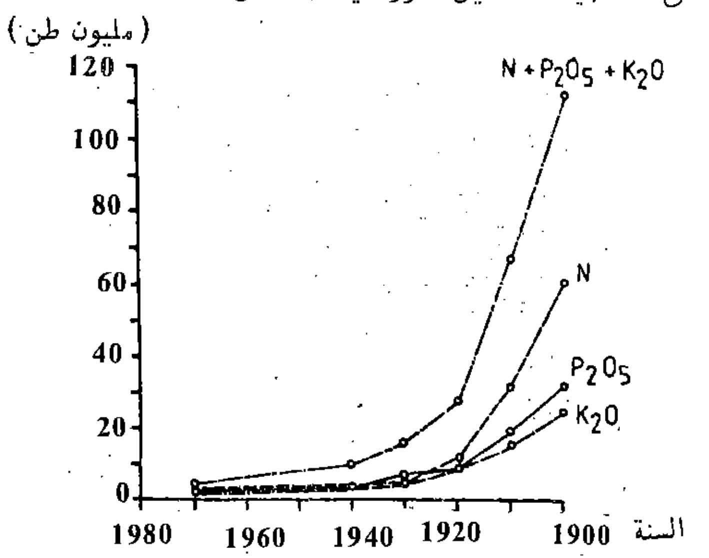
تأتي اهمية الاسمدة الكيمياوية (المعدنية والعضوية) في تعويضها السريع للنقص الموجود في التربة من العناصر الغذائية المهمة للنبات وكذلك يمكن التحكم في نوع العناصر المراد إضافتها الى التربة وكميتها وذلك لتعويض ذلك النقص بالاضافة الى سهولة استعمالها واضافتها للنبات وإستجابة الحاصل السريعة مما ينعكس ذلك على الإنتاج وتحسين نوعيته . ولهذا السبب زاد الاستهلاك العالمي للأسمدة بشكل لا يقبل المقارنة فقد كان مساوياً الى 1.5 مليون طن متري في بداية القرن العشرين ومالبث أن ارتفع الى 9.3 مليون طن متري في عام 39/ 1938 ولكنه إنخفض خلال الحرب العالمية الثانية الى 2 مليون طن . وكان الاستهلاك العالمي في 82/ 1981 حسب تقرير FAO لعام 1982 (الشكل - 3) يساوي 116 مليون



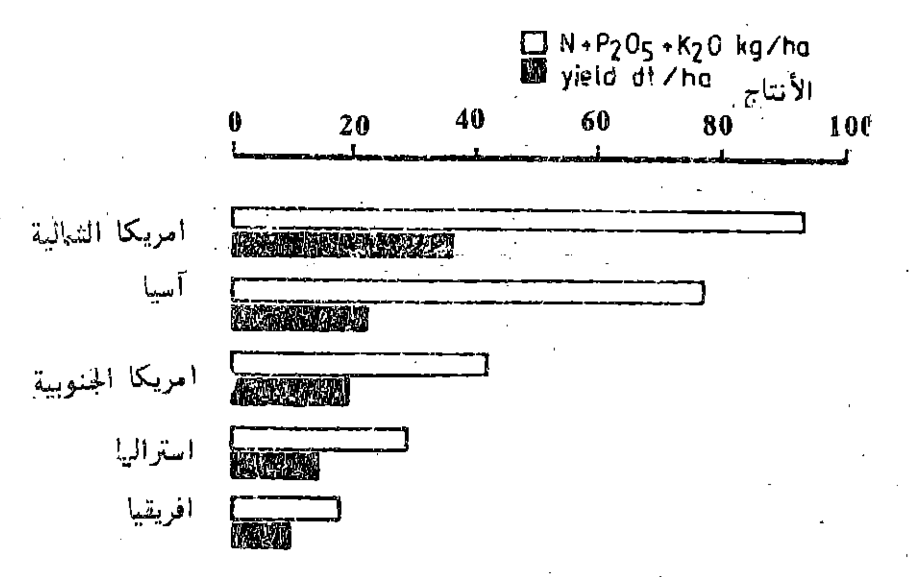
الشكل (3) الاستهلاك العالمي للاسمدة الكيمياوية موزعة حسب مواقع الاستهلاك (FAO, 1982).

طن . وتبين منحنيات الشكل (4) واقع المقارنة في الاستهلاك العالمي للاسمدة للفترة ما بين 1906-1980 حسب تقرير FAO لسنة 1982 .

إن زيادة الاستهلاك العالمي للأسمدة ادى الى ارتفاع الانتاج بحدود 50-75% بمجرد استخدام كميات قليلة من الاسمدة لاتتجاوز 50-70 كغم مغذي لكل هكتار . وبهذا لا يمكن تقليل دور الأسمدة في زيادة خصوبة الترب مما ينعكس ذلك بالايجاب على انتاجية المحاصيل الزراعية (الشكل ـ 5-) .

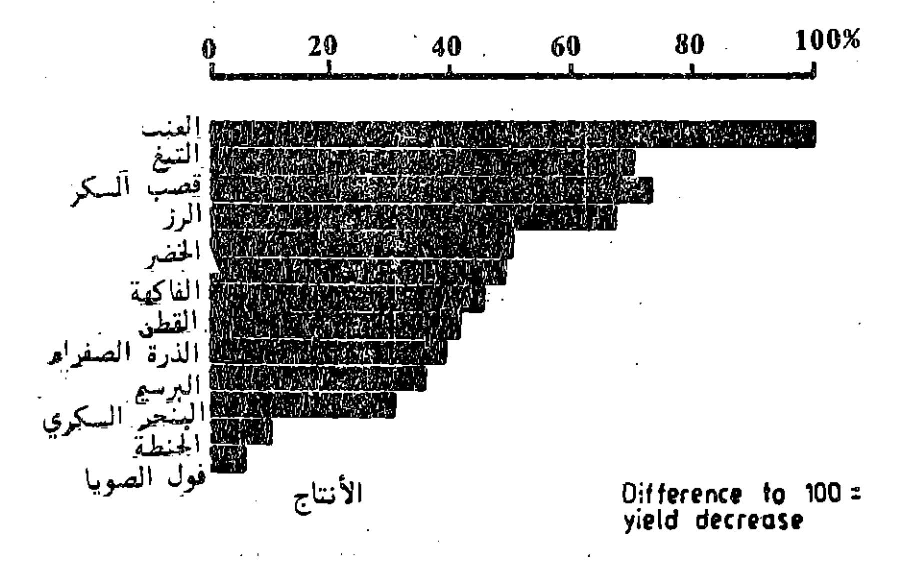


الشكل (4) الاستهلاك العالمي للاسمدة الكيمياوية للفترة ما بين 1906-1980 (FAO, 1978; 1982)



الشكل (5) العلاقة بين استهلاك الاسمدة وانتاجية محاصيل الحبوب في مناطق مختلفة من العالم (FAO, 1982)

وطبقاً لانتاج Viets, 1971 يتبين الدور الهام للأسمدة الكيمياوية على انتاجية المحاصيل الزراعية المختلفة . ومن خلالها يمكن ايضاح صورة المقارنة بين الانتاج بعد اضافة الأسمدة الكيمياوية وحجبها (الشكل ـ 6-) .



الشكل (6) النسب المئوية لانخفاض انتاجية المحاصيل الزراعية بعد حجب الاسمدة النايتروجينية والفوسفاتية من محاصيل مختلفة (Viets, 1971) .

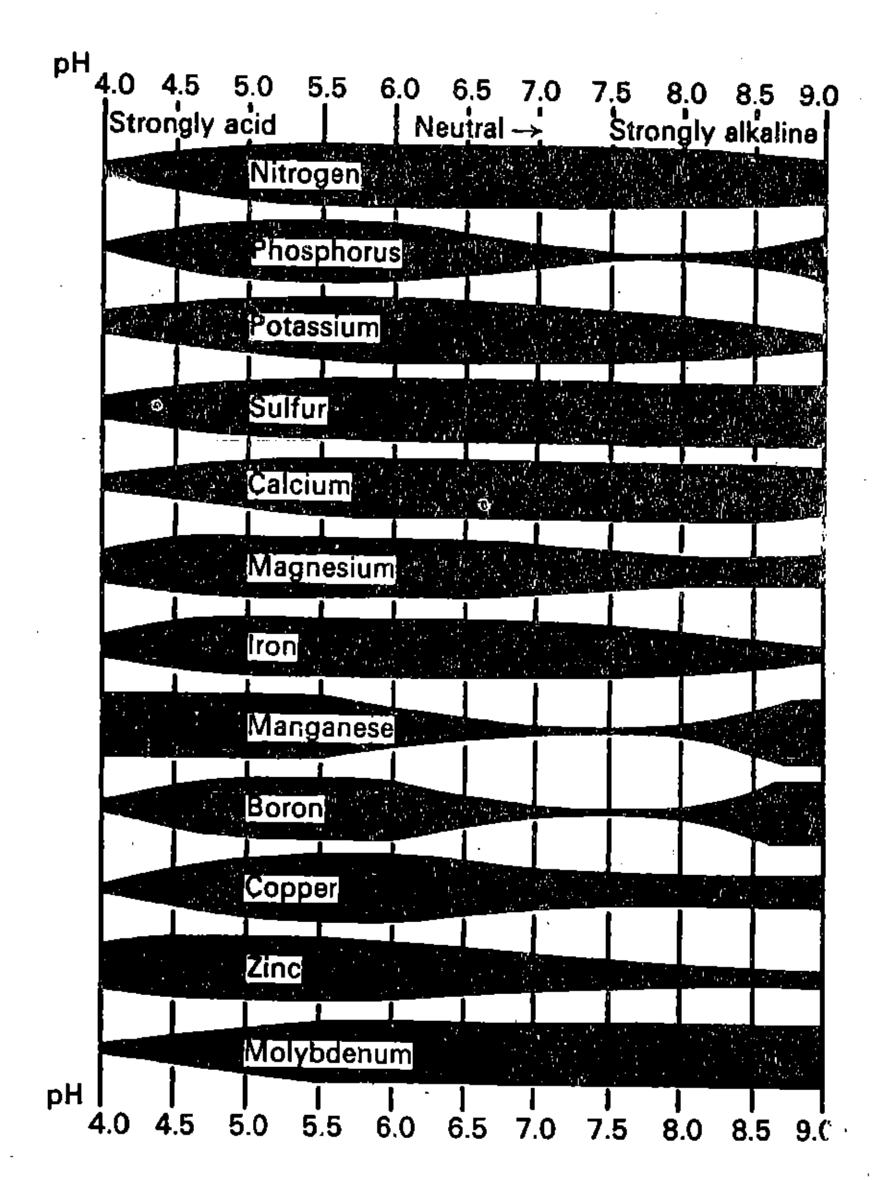
خصوبة التربة والعوامل المؤثرة عليها

غندما نحاول دراسة خصوبة التربة لابد من حصر هذه الدراسة في مجال خاص يرتبط بما تحتويه التربة من العناصر الغذائية وقدرتها على تجهيز النبات النامي لكي يكمل دورة حياته . ومن خلال ذلك يمكن تحديد مايقصد بمفهوم « خصوبة التربة » بأنه قدرة التربة على امداد العناصر الغذائية بالكميات والصور الملائمة لنمو النبات . وهذا يعني إنه لكي تكون التربة الزراعية خصبة لابد من أن تكون ذات قدرة تجهيزية من العناصر الغذائية الى النبات النامي مما ينعكس ذلك إيجاباً على نمو المحصول وانتاجه . وبهذا يمكن القول بإن الاراضي الزراعية تختلف فيما بينها بمحتواها من العناصر الغذائية وقدرتها التجهيزية . إن زراعة الارض سنة بعد أخرى سيؤدي الى استنفاذ معظم المغذيات من قبل النبات وبذلك بإنها تتحول الى أرض فقيرة يقل حاصلها الى درجة قد يصير غير اقتصادي . إنَّ العادة المتبعة لدى معظم الزراع العراقيين لتخفيف هذا التدهور في الاراضي الزراعية هو استعمال الأسمدة العضوية أو ترك الارض بوراً وزراعتها سنة وتركها السنة الأخرى بدون زراعة . إن البحوث الزراعية محلياً ومواكبه التقدم الزراعي جعل بالامكان استعمال الاسمدة الكيمياوية على نطاق واسع في العراق مما سيساعد على زيادة الانتاج ، ويمكن القول وبدون اي تردد ان استعمال الاسمدة يزيد من خصوبة التربة ويجهز النبات بما يحتاجه من العناصر الغذائية لذا تقوم الحاجة الى تحليل التربة والنبات لتقدير حاجة النبات ومقدار جاهزية العناصر الغذائية في التربة . وتستعمل طرق متعددة لتقدير خصوبة التربة واحتياجات النبات للعناصر الغذائية منها بايلوجياً وكيمياوياً . فقد تكون التربة خصبة وذلك لاحتوائها على كميات كافية من العناصر الغذائية الضرورية للنبات ومع هذا فهي قد تكون غير منتجة أما لأنها تحتوي على الاملاح الضارة التي تعيق نمو النبات وأما لسوء تركيبها ، وهذا يتطلب اصلاحها قبل زراعتها ، وان العوامل التي تؤثر على خصوبة الاراضي الزراعية عديدة يمكن تحديدها بالآتي :

1- درجة حموضة التربة Soil-pH

يؤثر pH التربة على نمو النبات وتطوره من خلال تأثيراته على جاهزية العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات . وتكون القيم التي بين 6-7 هي الأنسب لأستغلال العناصر الغذائية من قبل النبات (شكل -7) ومع هذا فقد تختلف النباتات عن بعضها بهذه الخاصية . ويمكن تحديد التأثيرات التالية عند إنخفاض تركيز ايونات الهايدروجين أو زيادته في محلول التربة :

(أ) إن زيادة قلوية التربة (ارتفاع PH التربة) تساهم في صلاحية بعض العناصر الغذائية مثل الفوسفات التي تتحول الى صور قليلة الذوبان (فوسفات ثلاثي الكالسيوم) وكذلك تكون معظم العناصر الغذائية الصغرى إذ تقل جاهزيتها للامتصاص من قبل النبات ، ويصبح الوسط ايضا ملائماً لتطاير الامونيا من الأسمدة النايتروجينية المضافة .



شكل (7) تأثير قيمة pH التربة على جاهزية العناصر الغذائية ، الاجزاء الغامقة تمثل اقصى جاهزية **(Lucas & Davis, 1961)**

(ب) إن زيادة تركيز ايونات الهايدروجين في محلول التربة تشجع عملية التجوية للمعادن الترابية مما يؤدي الى انطلاق العديد من العناصر الغذائية مثل K^+ و Mg^{2+} و Mn^{2+} والالمنيوم كما تعمل على اذابة العديد من الاملاح مثل أملاح الكاربونات والفوسفات والكبريتات ، كما تبين ذلك المعادلات الآتية :

$$CaCO_3 + 2H^+ \rightleftharpoons Ca^{2+} + CO_2 + H_2O$$

$$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 14H^+ \rightleftharpoons 10Ca^{2+} + 6H_2PO_4^- + 2H_2O$$

(جـ) إن انطلاق عدد من العناصر المعدنية نتيجة لعملية التجوية الى محلول التربة يؤدي الى زيادة تركيزاتها ، وقد تتجاوز حدود الاحتياجات المطلوبة مما ينعكس ذلك سلباً على الانتاج الزراعي بسبب التأثير السمي . ولقد اوضحت نتائج التجربة التي قام بها (Adams & Lunds, 1966) بأن جذور القطن تتأثر معنويا في حالة وجود تركيز يزيد عن 1.1×10^{-5} مول/ لتر . كما إن نتائج (Vlamis, 1953) الموضحة في جدول (4) تؤيد صحة تلك الأستنتاجات .

جدول (4) تأثير تركيز العناصر المعدنية على نمو محصول الشعير

المعاملة	pH	Al	Mn	انتاج الشعير ملغم
	التركيز في محلول التربة ملغم/ سم³			
بدون معاملة	4.2	1.8	16.0	139
معاملة مع $Ca(OH)_2$	5.8	0.4	12.8	340
معاملة مع NaOH	5.8	0.4	12.0	286

(د) يؤثر pH الترب على نشاط احياء التربة ويحدد أيضا نوعية هذه الكائنات الدقيقة . ويمكن الأخذ بما حدده (Trolldenier. 1971) بأن السيادة تكون للفطريات عند pH اقل من 5.5 بينما تكون السيادة الى البكتريا عند pH اعلى من ذلك . وهذا يعني أن الكثير من النشاطات البايلوجية

والعمليات المرتبطة بها تتحدد بدرجة حموضة التربة . ولكن غالباً ماتكون الظروف المتعادلة مفضله لمعظم تلك العمليات .

(هـ) تؤثر درجة حموضة التربة على تحديد نوعية الصور السائدة في محلول التربة مما يحدد ذلك طبيعة امتصاص العناصر الغذائية . فالايونات السالبة مثل النترات nitrate والفوسفات phosphate تمتص بدرجة كبيرة في الظروف القليلة الحموضة بسبب سيادة الصور الملائمة للامتصاص مثل $H_2PO_4^-$. وإن امتصاص الايونات الموجبة يكون اكثر في ظروف الاعتدال (Arnon et al. 1942) .

(و) تؤثر درجة حموضة التربة على قيمة السعة التبادلية الكاتيونية إذ ترتفع مع ارتفاع قيم pH الترب عندما تضاف الشحنة السالبة المرتبطة في قيمة الـ pH التي يكون مصدرها غالباً المادة العضوية ومكوناتها (المجاميع الفعالة) الى كمية الشحنة السالبة الناتجة من الاحلال المتماثل ـ أي الشحنة الدائمة .

(ز) تؤثر درجة حموضة التربة على سير العديد من تفاعلات الاكسدة والأختزال بالتربة . كما تصف ذلك المعادلات التالية

$$Mn^{+2} + H_2O + O_2 = 2H^+ + MnO_2$$
$$2Fe^{2+} + 5H_2O + O_2 = 4H^+ + 2Fe(OH)_3$$
$$H_2S + 2O_2 = 2H^+ + SO^=$$
$$NH_4^+ + 2O_2 = 2H^+ + NO_3^- + H_2O$$

2- قوام التربة والتركيب المعدني

يتكون الطور الصلب لنظام التربة من جزئين أولها عبارة عن مكونات معدنية والثاني عبارة عن مكونات عضوية . إنَّ المكونات المعدنية عبارة عن خليط معادن اولية وثانوية تأخذ أحجاماً مختلفة تحددها عوامل تكوين التربة وظروفها . أي انه يمكن القول إن الجزء المعدني يتوزع حجمياً الى حبيبات هي الرمل (2-0.02 ملم) والغرين (0.02-0.002 ملم) والطين (أقل من 0.002 ملم) . ويعبر عن هذا التوزيع الحجمي بقوام التربة Soil texture . ومن خلاله يمكن التعرف على الخواص الفيزياوية والكيمياوية للتربة . أما المكونات العضوية فهي عبارة عن المواد العضوية القديمة المقاومة للانحلال أو المواد والمخلفات العضوية التي لم تتحلل بعد .

ولمكونات الطور الصلب أهمية خاصة من ناحية خصوبة التربة بما لها من دور في التفاعلات التي تتصل بالعناصر الغذائية وأثر ذلك على صورها الكيمياوية

صالحة لتغذية النبات . فالطين يؤدي دوراً أساسياً في خواص التربة الكيمياوية والفيزياوية وفي دوره كبيئة لنمو النبات . وكذلك فإنه يعتبر من اكثر مكونات التربة قدرة على الاحتفاظ بالماء وله تأثير كبير على سهولة خدمة الارض الزراعية أو صعوبة التهوية وكذلك على قدرة الجذور على النمو فيها . كما يمكن اعتبار الطين مصدراً لعدد محدود من العناصر الغذائية وكذلك قدرته على الاحتفاظ بها بصورة صالحة .

إن لنوع معدن الطين دوراً مؤثراً على جاهزية العناصر الغذائية فمن خلال خصائص المعدن الطيني السائد يتحدد ذلك الدور ، فمعادن الطين 1:1 مثل معدن الكاؤلينيات Kaolinite تمتاز بقلة السعة التبادلية الكاتيونية وبالتالي بقلة دورها المؤثر في الاحتفاظ بالعناصر الغذائية . وتختلف هذه الخصائص عندما نتطرق الى الخصائص لمجموعة معادن الطين 2:1 التي تؤثر من خلال قيمة السعة التبادلية الكاتيونية العالية وقدرتها التثبيتية لبعض المغذيات كالبوتاسيوم والامونيوم كما يحصل ذلك في معادن الفيرمايكولايت Vermiculite . هذا بالاضافة لما لخصائص التركيب النباتي والكيمياوي لمعادن التربة المختلفة من مساهمة في تحديد حالة الاتزان الكيمياوي للعناصر الغذائية والتداخل بين الطورين الصلب والسائل .

3- محتوى الترب من المادة العضوية

إنّ المادة العضوية عبارة عن المواد المتبقية من الكائنات الحية نباتية كانت ام حيوانية بغض النظر عن درجة تحللها . وتتركب من عدد من العناصر الغذائية اهمها الكاربون والهايدروجين والاوكسجين والنايتروجين والكبريت والفسفور وغيرها من العناصر المعدنية . ويعرف الدبال Humus بأنه الجزء من المادة العضوية الذي بلغ درجة عالية من التحلل ووصل الى حالة اتزان تقريباً مع البيئة المحيطة . إنّ الاراضي الزراعية تختلف في محتواها من المواد العضوية فالاراضي المعروفة باسم Peat هي أراض قد تحتوي على 50-90% مواد عضوية بينما تصل الكمية الى حوالي 1% أو اقل في بعض الاراضي في جنوب العراق . ويمكن ايجاز دور المواد العضوية في تحديد خصوبة التربة بالآتي .

(1) تعتبر المادة العضوية مصدراً ومخزناً للعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات . إذ تعتبر هذه المادة مصدراً رئيسياً للنايتروجين الذي ينطلق خلال تحلل المركبات النايتروجينية العضوية بفعل النشاط الخاص لاحياء التربة . لذا يمكن النظر الى الاراضي الزراعية الفقيرة في المادة العضوية عموماً بأنها فقيرة في النايتروجين وتحتاج الى التسميد النايتروجيني لسد النقص .

قيمتها التي تتوقف الكاتيونية التبادلية السعة امتلاكه الدبال خواص من إن (2)
على درجة حموضة التربة كما سبق ذكره . كما تتأثر الصفات التأينية للمجاميع
الفعالة التي يحملها الدبال (المجاميع الكاربوكسيلية والفينولية) أيضاً . وللدبال
سطح نوعي يزيد من القدرة الحافظة للماء في الترب لذا يفضل اضافته الى
الأراضي الرملية ذات القدرة الاحتفاظية المنخفضة .

(3) يتحد الدبال مع حبيبات الطين في صورة اغشية عضوية ومع الحبيبات المعدنية
مما يساعد ذلك على تكوين حبيبات مركبة اي تحسين صفات التربة الفيزياوية
وينعكس ذلك على تحسين بناء التربة مما يخلق ظروفاً جيدة لسريان الماء
والتهوية . إن الارتباط بين الدبال والجزيئات العضوية الأخرى وبين حبيبات
الطين يتم غالباً من خلال روابط هايدروجينية بين المجاميع الكاربوكسيلية
والهايدروكسيلية العضوية وبين الاوكسجين على سطح الحبيبات المعدنية .
وتؤدي قوى فان درفالس Van der Woals bonds دوراً كبيراً في عملية
الربط أيضاً .

(4) إنَّ للمادة العضوية دوراً في المحافظة على القدرة التنظيمية للاراضي
Soil buffering Capacity من خلال ايونات الهايدروجين المنطلقة من
المجاميع الكاربوكسيلية . كما تؤثر على صلاحية العديد من العناصر الغذائية
من خلال التفاعلات العديدة التي تتم بينها ، ومنها مساهمة المادة العضوية في
تحويل بعض العناصر الغذائية الى صورة صالحة لتغذية النبات .

لهذا يمكن القول إن للمادة العضوية دوراً رئيسياً في التأثير على خصوبة التربة .
فزيادة محتوى اي ارض من المادة العضوية يعني زيادة خصوبتها ولكن لا يعني هذا
أن الاراضي ذات المحتوى المنخفض ليست دائماً غير خصبة ، بدليل إن معظم
الاراضي الصحراوية منخفضة المحتوى من المادة العضوية ويمكن جعلها بحالة خصبة
جداً عند وضعها تحت نظام زراعي خاص .

(4) محتوى الترب من الاملاح الذائبة

في المناطق الجافة وشبه الجافة arid & Semi-arid regions يقل معدل
الترسيب precipitation (الندى والمطر) عن الحدود التي تساهم في غسل الاملاح
من سطح الترب وانتقالها الى مسافات في عمق التربة ، بالاضافة الى زيادة معدلات
التبخر والنتح evapotranspiration مما يؤدي ذلك الى تجمع الاملاح في الترب
وبذلك ينشيء مايسمى بالاراضي المتأثرة بالاملاح . وتؤثر الاملاح الذائبة على
الترب أما من خلال تركيز محلول التربة وبذلك تسمى الترب في هذه الحالة بالترب

الملحية Saline Soil وأما بزيادة نسبة الصوديوم على سطح معقد التربة عن حد معين وتسمى الترب في هذه الحالة بالترب الصودوية Sodic Soils . وتتكون الاملاح الذائبة من كلوريدات وكبريتات ايونات الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم بصفة اساسية وبيكاربونات ونترات وبورات هذه الايونات الموجبة بصفة ثانوية . ولا نتطرق هنا لمصادر تملح الترب وكيفيتها بل سنقتصر على بيان تأثيرات وجود الاملاح على خصوبة التربة وانتاجية المحاصيل .

تمتاز الترب المتأثرة بالاملاح بسيادة مشاكل خاصة تتطلب عمليات ادارة وخدمة خاصة تتفق ونوعية « أصابتها » بالاملاح . ذلك لان الاملاح الذائبة تؤثر على الترب بطرق متعددة منها : ـ

(١) زيادة تركيز الايونات الموجبة والسالبة في محلول التربة .

(2) تغير في نسب الايونات المتبادلة على سطح معقد الامدصاص بالتربة .

(3) تؤثر سلباً على نشاط جذور النبات والاحياء الدقيقه .

(4) تغير في خواص التربة الفيزياوية .

وينقسم تأثير الاملاح على نمو النبات الى نوعين احداهما يسمى بالتأثير الازموزي Osmotic effect أو التأثير الكلي للاملاح اي تأثير الاملاح ككل بغض النظر عن نوعيتها ، ويسمى التأثير الآخر بالتأثير النوعي Specific effect وهو تأثير نوع معين من الاملاح على النبات سواء عند تركيز مرتفع او تركيز منخفض من هذا الملح وبغض النظر عن التركيز الكلي للاملاح . فمثلاً يعتبر تأثير البورون Boron على النبات تأثيراً نوعيا إذ أنه يؤثر على نمو كثير من النباتات إذا تواجد بتركيز يزيد عن واحد جزء في المليون في محلول التربة بالرغم من انه عنصر ضروري لنمو النبات .

أما اذا زاد الصوديوم المتبادل عن النسبة (15%) فإن ذلك يؤدي الى تفريق حبيبات التربة الذي يؤدي الى حركتها الى أسفل القطاع الارضي وكذلك الى عدم ثبات بناء التربة . كما يعطي التربة لوناً أسود نتيجة لذوبان المادة العضوية في الـ pH المرتفع ولذلك تتميز الاراضي القلوية بلونها الاسود في اكثر الاحيان وتؤدي حركة الحبيبات الناعمة الى اسفل افاق فقد التربة مما يؤدي الى تكوين طبقات طينية صماء . إنَّ الاراضي الصودوية صعبة الخدمة جداً نظراً للزوجتها عند الابتلال وتكوينها لكتل كبيرة متماسكة عندما تكون جافة . كما أنّ نفاذيتها للماء والهواء تكون بطيئة وكذلك الجذور .

تتميز الترب الصودوية بوجود املاح كاربونات الصوديوم الحرة التي تنتج بصورة اساسية من ثاني اوكسيد الكاربون والماء والصوديوم المتبادل الذي يحدث له

تحلل مائي ، ويؤدي تكوين هذا الملح الى ارتفاع قيمة pH التربة ليصل الى 10 في بعض الاحيان مما يخلق ظروفاً غير مناسبة لتغذية النبات .

(5) محتوى التربة من الكاربونات الكلية

إنَّ اهم الظواهر التي تمتاز بها ترب المناطق الجافة وشبه الجافة هي وجود تجمعات من lime والتي تكون شائعة في معظم الترب المتكونة من مادة الأصل limestone أو Marl . ويختلف محتوى هذه الترب من الكاربونات الكلية من نسبة بسيطة جداً متجمعة في مكان ما في مقد التربة الى حوالي 60-80% او اكثر من وزن التربة .

إن من اهم مشاكل الترب الكلسية ارتفاع pH التربة مما يؤثر ذلك على صلاحية العناصر الغذائية اللازمة للنبات ، بالاضافة الى تأثير الكلس في صوره المختلفة على جذور النبات . وتؤدي الكاربونات دوراً كبيراً في التفاعل المباشر مع بعض العناصر الغذائية مساهمةً في مدصاصه adsorption أو ترسيبه كما يحصل ذلك في السلوك التفاعلي لعنصر الفوسفات المضافة أو عناصر أخرى كما أَنَّ للكاربونات دوراً في تدهور صلاحية الاسمدة النايتروجينية المختلفة المضافة من خلال التأثير المباشر وغير المباشر على تطاير الامونيا . ومن أجل مراعاة نمو النبات وتغذيته في ظروف الترب الكلسية يجب مراعاة أحدى النقاط الآتية :

(أ) الحذر من الرطوبة الزائدة ، إذ أنَّ قلة الماء يعرقل التحلل المائي hydrolysis للمادة الكلسية وبهذا تقل مساهمة الكاربونات في رفع pH التربة .

$$CaCO_3 + H_2O = Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^-$$

(ب) يمكن التقليل من تأثير ايونات الهايدروكسيل الناتجة من التحلل المائي للكاربونات بزيادة نسبة ثاني اوكسيد الكاربون في هواء التربة .

(جـ) ينصح البعض بإضافة المواد الحامضية التفاعل للمساعدة في زيادة خصوبة التربة الكلسية . ولكن نتائج معظم الابحاث قد بينت أن هذه المواد تهاجم المادة الكلسية اولاً وبذلك يقل مفعول تأثيرها فلا يحدث تغير ملحوظ في pH التربة او زيادة في ذوبان العناصر الغذائية الامر الذي يتطلب استعمال كميات كبيرة من الاحماض لخفض pH التربة مما يجعل استعمالها غير اقتصادي .

(5) التهوية

يتكون هواء التربة كما في الهواء الجوي من النايتروجين والاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون وبعض الغازات الخاملة . ويشغل هواء التربة المسام الفارغة من قبل ماء التربة وتختلف نسبة مكوناته الرئيسية عنها في الهواء الجوي نتيجة لعمليات التنفس التي تقوم بها الكائنات الحية في التربة التي تستهلك الاوكسجين وتـ ـ ثاني اوكسيد الكاربون ، لذا يرتفع محتوى هواء التربة من ثاني اوكسيد الكاربون ليصل الى 0.2% وقد يصل الى 1% بينما يكون محتوى الهواء الجوي 0.03% . والجدول (5) يبين تركيب الهواء الجوي وهواء التربة .

جدول (5) تركيب الهواء الجوي وهواء التربة

	الهواء الجوى	هواء التربة « % »
الاوكسجين	21	20
النايتروجين	78.03	78.60
ثاني اوكسيد الكاربون	0.03	0.2

ويتوقف تركيب هواء التربة على معدلات التفاعلات الكيمياوية والحيوية وخواص التربة المتصلة بالحيز الهوائي ومعوقات التبادل الغازي . وتنحصر أهمية هواء التربة بالآتي :

(أ) إن نقص الاوكسجين يؤثر على قابلية الجذور في امتصاص العناصر الغذائية (جدول 6) . اذ تتحول الكثير من العناصر الغذائية الى صور غير صالحة للامتصاص خلال عملية الاختزال .

جدول (6) تأثير ضغط الاوكسجين الجزيئي في المحلول المغذي على امتصاص الفسفور والبوتاسيوم من قبل محصول الطماطا (Hopkins et al. 1950).

الضغط الجزيئي للاوكسجين بار	الامتصاص النسبي K	Relative uptake P
0.21	100	100
0.05	75	56
0.005	37	30

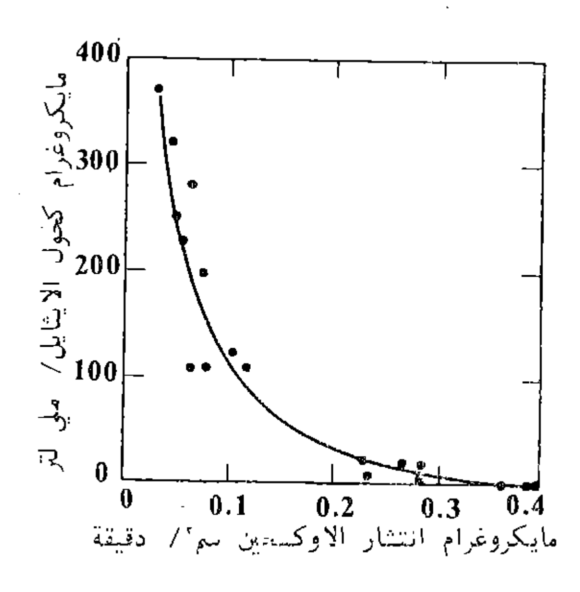
(ب) يؤثر نقص الاوكسجين على النشاط الانزيمي في النبات مما يؤثر على العمليات الحيوية .

(جـ) يؤثر نقص الاوكسجين على تمثيل الكاربوهيدريت في الجذر إذ تقل عملية الاكسدة وبذلك تتكون كحولات مثل ethyl alcohol بسبب التخمر (الشكل 8) . وهذه العملية تؤثر سلبياً على نمو النبات .

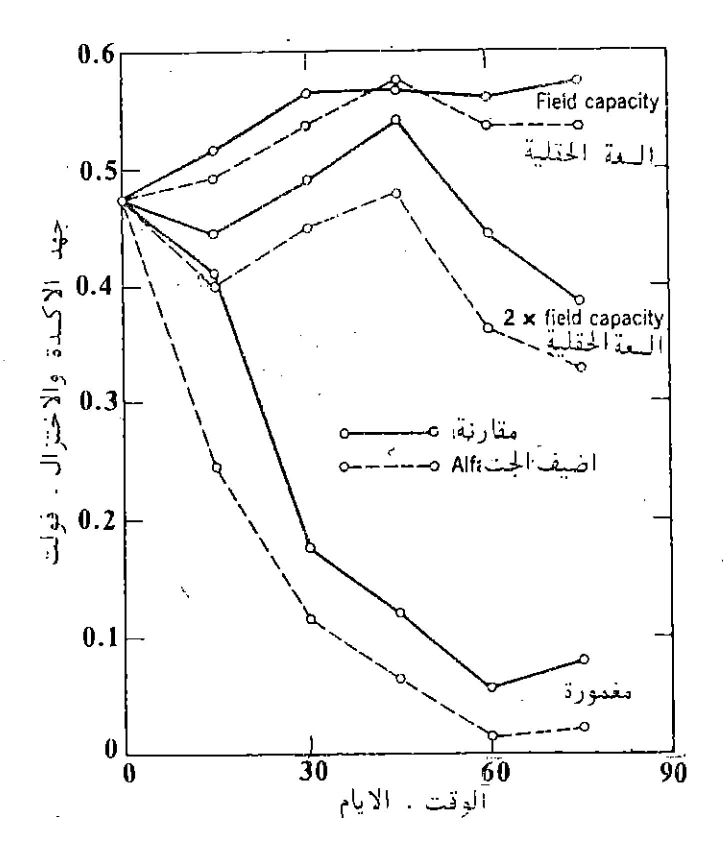
(د) إن نقص الاوكسجين يمنع اكسدة المادة العضوية الموجودة أو المضافة مما يؤدي الى تراكمها وتراكم نواتج التحلل التي غالباً ماتكون سامة للنبات مثل الاثيلين ethylene والميثان methane وغاز كبريتيد الهايدروجين والسيناميد Cyanide ، واحماض عضوية مثل حامض الخليك والاوكزاليك واللاكتيك والستريك كما في (الشكل 9) .

(هـ) نقص الاوكسجين يعرقل امتصاص الماء لأنعدام الطاقة مما يؤدي ذلك الى ذبول النبات .

(و) نقص الاوكسجين يؤدي الى عرقلة استطالة الجذر . إذ أن قمم الشعيرات الجذرية اكثر الاجزاء حساسية لنقص الاوكسجين .



الشكل (8) تأثير معدل انتشار الاوكسجين على تكوين كحول الإيثايل في عصارات خلية نبات الطماطا (Fulton & Erickson, 1964)



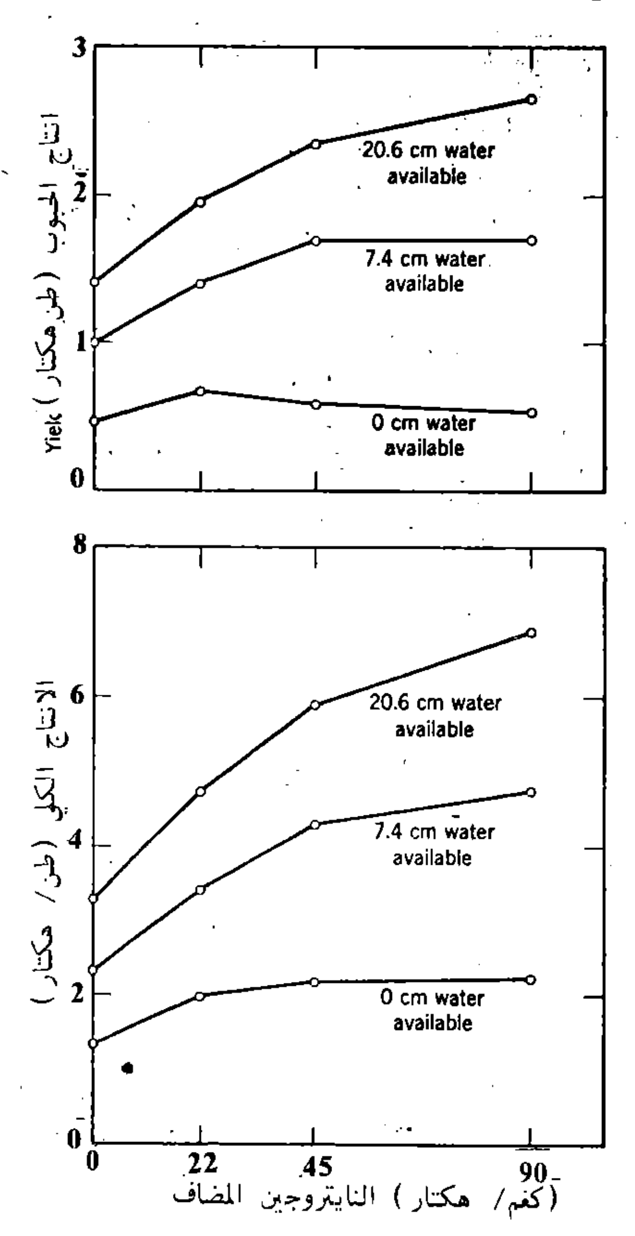
الشكل (9) تأثير جهد الاكسدة والأختزال في تربة مزيجية غرينية على تحلل مخلفات البرسيم المضافة بمعدل 1% عند ثلاثة مستويات لمحتوى التربة الرطوبي (Savant and Ellis, 1964)

6- محتوى التربة الرطوبي

عندما نحاول ادراج ماء التربة (محتوى التربة الرطوبي) باعتباره عاملاً محدداً لخصوبة التربة يجب أن نؤكد أهمية هذا العامل بتأثيراته على سلوك التفاعلات الكيمياوية والحيوية وخصائصها بالتربة وكذلك بتأثيراته على نمو المحاصيل الزراعية وانتاجيتها. ولا نتطرق هنا الى نوع ماء التربة وخصائصه والى القوى (الجهود) المؤثرة على جاهزيته بل سنكتفي بتحديد تأثير محتوى التربة من الماء الجاهز على انتاجية المحاصيل الزراعية التي يمكن إجمالها بالآتي: ـ

(أ) يعتبر الماء من العوامل الاساسية في عملية التركيب الضوئي من خلال انتاج الكاربوهيدرات وكذلك من خلال فتح الثغور على سطح الورقة النباتية وغلقها ودوره في انتفاخ الخلية للاجزاء النباتية المختلفة.

(ب) يعتبر ماء التربة الوسط المناسب لاذابة العناصر الغذائية وحركتها الى النبات . ويمكن القول إنَّ انخفاض محتوى التربة من الماء له تأثير جوهري على قابلية التربة في امداد العناصر الغذائية للنبات وعلى كفاءة الاسمدة المضافة (الشكل ـ 10) .



الشكل (10) العلاقة بين انتاجية الحبوب والمادة الجافة ومستويات مختلفة من التسميد النايتروجيني وكمية الماء الجاهزة بالتربة في مراحل نمو النبات (Ramig and Rnoades, 1963)

(جـ) يؤثر نقص الماء الجاهز على تمثيل النايتروجين وتكوين البروتين مما يؤثر بدوره على انتاجية المحصول المزروع . ومن هنا فإن نقص الماء يؤثر على نسبة $\frac{الجذر}{القمة}$ Root/ top ratio (جدول ـ 7) وهذا يعكس بإيضاح اهمية الماء واعتباره عاملاً محدوداً للانتاج .

جدول (7) إنتاج الجزء الخضري والدرنات عند مستويات رطوبية مختلفة (استل من **Black, 1967**) .

محتوى التربة الرطوبي %	غرام/ وزن اجزاء النبات: الجزء الخضري	غرام/ وزن اجزاء النبات: الدرنات	الجزء الخضري / الدرنات
6	4	26	0.15
9	9	50	0.18
12	16	80	0.20
15	25	116	0.22
18	34	130	0.26

إذ أن وفرة الماء الممتص يؤدي الى استطالة الخلايا ويزيد من مساهمته في عملية حركة الكاربوهيدرايت للدرنات .

(د) يؤدي الامتصاص المناسب من الماء الى زيادة انتاجية الحبوب والقش . وقد بين (Russell, 1973) هذا التأثير في انتاجية محصول الحنطة (جدول ـ 8) وبهذا يمكن القول إن الماء عامل محدد لنمو النبات وانتاجيته .

جدول (8) انتاجية الحنطة مع زيادة كمية ماء الري

ماء الري (سم)	12.5	19	38	63	125
إنتاجية الحبوب طن/ هكتار	2.47	2.68	2.86	2.89	2.95
انتاجية القش طن/ هكتار	3.10	3.50	4.10	4.60	6.00
النسبة الحبوب/ القش	0.80	0.76	0.69	0.63	0.49

وبعد هذا العرض لبعض العوامل التي تؤثر على خصوبة التربة ، لابد لنا من الاشارة الى أن مقدار مايمتصه اي نبات من العناصر الغذائية من التربة يتأثر بعدد من العوامل يمكن تقسيمها الى :

اولاً : ــ **العوامل الخارجية** : المتعلقة بالبيئة التي ينمو فيها النبات التي تتضمن

أ ــ عوامل متعلقة بالعنصر الغذائي ــ اي الصورة الكيمياوية التي يوجد بها العنصر الغذائي في محلول التربة ومدى صلاحية هذه الصورة للامتصاص وكذلك تركيز هذا العنصر وتوزيعه في منطقة انتشار المجموع الجذري .

ب ــ عوامل متعلقة بالبيئة المحيطة وهي تمثل :

(1) تأثير التداخل بين العنصر الغذائي والعناصر الغذائية الأخرى على امتصاص ذلك العنصر وجاهزيته .

(2) تأثير خواص التربة الكيمياوية والفيزياوية على صلاحية العناصر الغذائية ، كتأثير درجة حموضة التربة (Soil-pH) والرطوبة والحرارة والتهوية والاحياء الدقيقة الموجودة في التربة والتعرية والتآكل وطبوغرافية الارض ومحتوى التربة من الاملاح وكاربونات الكالسيوم والاكاسيد والهايدروكسيدات الحرة وغيرها .

ثانياً : ــ **العوامل الداخلية** : وتتضمن جميع الخصائص المتعلقة بفسلجة النبات وصفاته المورفولوجية . وقد حدد (بلبع ,1968) هذه العوامل بالآتي :

(1) الصفات الوراثية للنبات
(2) نوع الجذر ومدى انتشار المجموع الجذري
(3) عدد ومواقع التبادل الايوني ومدى انتشارها على الجذور
(4) درجة نفاذية أنسجة الجذر
(5) التنفس والتركيب الضوئي
(6) النتح
(7) التركيب الايوني للنبات
(8) عمر النبات ومعدل نموه
(9) قدرة النبات على المعيشة التكافلية مع الكائنات الحية الدقيقة .

إن الطرق المتبعة والشائعة للأستدلال على خصوبة التربة هي (سنحاول تناولها بشكل مفصل في مفردات المنهاج العملي لمادة الأسمدة وخصوبة التربة) : ــ

(1) علائم نقص العناصر الغذائية على النبات .

(2) زرع بعض النباتات في التربة المراد معرفة خصوبتها وفحص أنسجة النبات بعد ذلك .
(3) استخدام النشاط الحيوي لاحياء التربة (الفحوص البايلوجية) .
(4) التحاليل الكيمياوية للتربة لتقدير نوعية العناصر الجاهزة وكميتها .

يصل العنصر الغذائي الجاهز في التربة الى سطح جذر النبات بوسائل محددة وصفها (Barber et al 1963) بالآتي : —

1- الاعتراض الجذري والتماس التبادلي

Interception and contact exchange

من خلال نمو المجموع الجذري واندفاعه في التربة تحصل حالة التماس أو ما يقصد به الاعتراض الجذري . وقد تحصل حالة احلال بين ايونات الهايدروجين الموجودة على سطح الجذر والناتجة من عمليات حيوية خاصة في النبات وبين المغذيات المدمصة على سطح معقد التربة . ويعني هذا إن الايونات تنتقل الى جذور النبات، مباشرة دون تحولها الى محلول التربة وبهذا فإن فعالية هذه الآلية تكون اكثر في الترب الطينية منها في الرملية وذلك في مدّ النبات بحاجته من المغذيات . وقد اشار Barber et al 1963 الى أن هذه الآلية من الامتصاص لا تشكل الا نسبة محدودة جداً بالمقارنة مع الكمية الكلية المطلوبة لسد احتياجات النبات .

2- الأنسياب الكتلي Mass flow

بهذه الآلية تنتقل العناصر الغذائية الى سطح الجذر بواسطة الماء . إذ يتحرك العنصر الغذائي مع سيل الماء المتحرك نتيجة الجذب المستمر له الناتج عن امتصاصه بواسطة جذور النبات . ويمكن اعتبار الكمية التي تصل الى الجذر من اي عنصر تعتمد على كمية الماء ومعدل التركيز الذي يحتويه . وإن معدل تركيز المغذي حول الجذر قد يزداد أو يبقى كما هو معتمداً على الميزان بين معدل تجهيز العنصر الى الجذر بواسطة الأنسياب الكتلي أو معدل الامتصاص من قبل الجذر . ويتأثر إنتقال الماء وبالتالي العناصر المحمولة معه بنفاذية التربة للماء وكذلك بالعوامل المحددة لحركة الماء بالتربة مثل النسجة ودرجة الحرارة . وتتفاوت العناصر الغذائية باستجابتها للحركة بهذه الآلية ، فمثلاً يحصل النبات على أغلب حاجته من الكالسيوم (Barber, 1974) والنترات (Renger & Strebel, 1976) ولكن البوتاسيوم والفسفور لا يستجيبان (عند التركيزات الواطئة) لهذه الآلية (Mengel, 1985) . وهذا يعني إن آلية الانسياب الكتلي تكون سائدة

للايونات الموجودة بتركيز عالٍ في محلول التربة وايضا عندما يكون النتح عالياً . فقد أشار (Liao & Bartholomew, 1977) بوجود تلازم قوي بين ما يفقده محصول الذرة الصفراء من ماء بسبب النتح وما يمتصه من أيون النترات .

3- الانتشار Diffusion

يحصل إنتشار العناصر الغذائية عندما ينتقل العنصر من التركيز العالي الى التركيز الواطيء وبشكل حركة عشوائية . وتحصل هذه الآلية عندما يكون التركيز حول سطح الجذر أما واطئاً وأما مرتفعاً . عما في المحلول المحيط . ويعبر عن محصلة الانتشار net diffusion بالفرق بين عدد الجزيئات التي تتحرك في أي الاتجاهين المتضادين في وحدة معينة . وعندما يكون الانتشار صفراً فإن ذلك يعني توقف الأنتشار بل يعني إن حركة الجزيئات متساوية في جميع الاتجاهات .

ويعبر قانون Fick الاول Fick's first law عن العلاقة بين مقدار الجزيئات التي تنتشر والعوامل التي تؤثر عليه

$$F = -D\ (dc/dx)$$

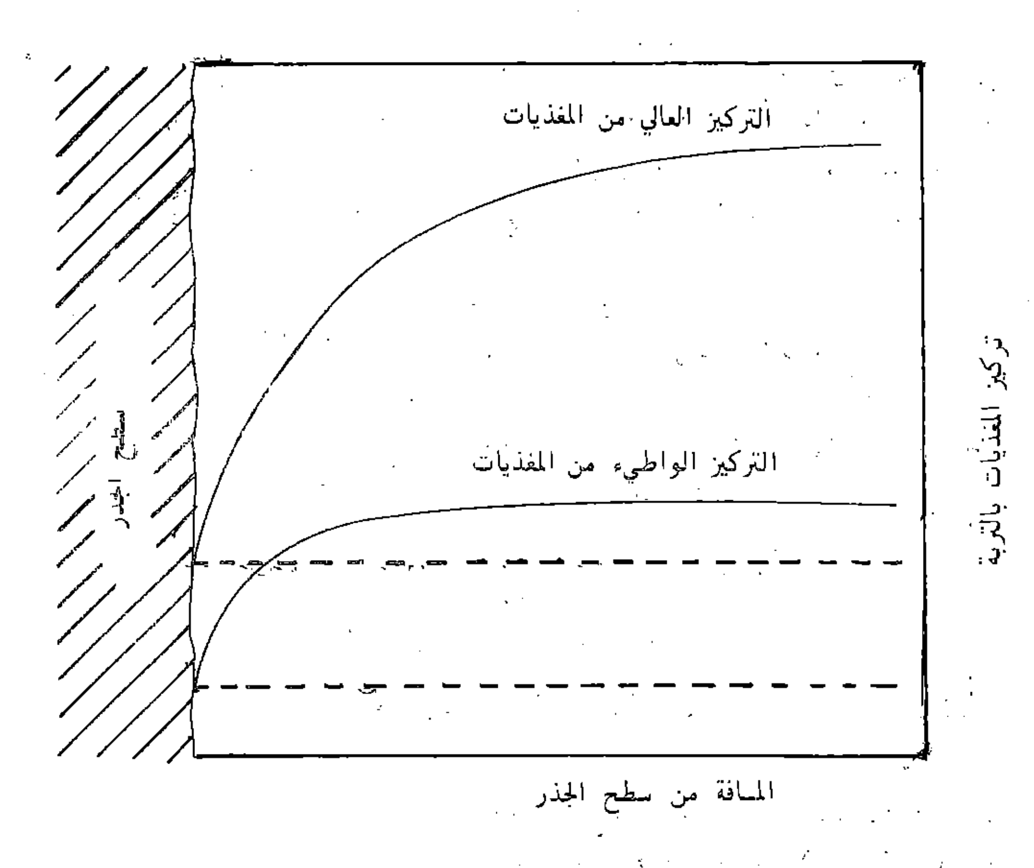
إذ أنَّ F يمثل معدل الانتشار diffusion rate وهي عبارة عن الكمية المنتشرة من الجزيئات خلال مقطع محدد لوحدة الزمن . أما dc/dx فهي عبارة عن فرق التركيز أو ميل التركيز concentration gradient ، D عبارة عن معامل الانتشار diffusion coefficient الذي وصفه (Nye, 1979) بالمعادلة الآتية ليعبر عن معامل الانتشار في وسط التربة :

$$D = De\ \Theta\ fe\ (dce/dc) + D_E$$

أي أن D عبارة عن معامل الانتشار في وسط التربة و De معامل الانتشار في الماء الحر بالتربة و Θ تمثل حجم التربة المتليء بالماء و fe معامل العرقلة impedance factor و Ce تمثل تركيز الايون في محلول التربة . و C التركيز الكلي للايون في التربة أما DE فيمثل الانتشار السطحى surface diffusion .

إنَ محتوى التربة من العنصر الغذائي يؤدي دوراً كبيرا في تحديد حركة العنصر بآلية الأنتشار . فالشكل (11) يبين أنَّ اختلاف تربتيْن بمحتوى العنصر الغذائي يؤثر على ميل التركيز concentration gradient أي أنَّ المحتوى العالي يؤدي الى خلق ميل اكبر ، مما يعجل حركة العنصر الغذائي اذا أستبعدت جميع معوقات

الحركة ، ويمكن النظر الى الأختلاف الكبير في التركيز في المواقع البعيدة عن ... وتأثير محتوى التربة من العنصر على فرق التركيز . إن الانتشار يقل غالباً عند... يقل النتح كما أن الايونات مثل البوتاسيوم والامونيوم والفسفور تنقل غالباً (التركيز الواطيء من هذه العناصر) بواسطة الانتشار ويؤدي الانسياب الكتلي دوراً هاماً عند التركيزات العالية من هذه العناصر .



الشكل (11) تأثير محتوى التربة من العناصر الغذائية والمسافة من سطح الجذر على ميل تركيز هذه العناصر (Lewis & Quirk, 1967) .

العلاقة بين الانتاجية وخصوبة التربة

تعرف إنتاجية الترب الزراعية بقدرة التربة على انتاج محصول معين في ظروف محددة مثل موعد الزراعة والتسميد ومواعيد الري والحراثة ومقاومة الآفات والظروف الجوية . أي إن انتاجية التربة الزراعية هي محصلة عوامل عديدة تؤثر

على المحصول سواء ماهو متعلق منها بالتربة أم بالظروف المحيطة . ولهذا فإن الانتاجية تعكس نظرة إقتصادية وليست خاصية مقتصرة على التربة وغالباً ماتدخل المصاريف والدخل لحساب الربح الذي يعبر عن الانتاجية . ولهذا وصف (Jenny, 1930) الأنتاج بإنه دالة لمتغيرات يمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية :

الانتاج = دالة (التربة ـ الماء ـ الانسان ـ النبات ـ مقاومة الآفات ـ الزمن ـ وغيرها من العوامل)

إن دفع هذه المتغيرات الى الوضع النموذج الملائم يعني المساهمة في الحصول على اقصى انتاجية . واذا حاولنا إفتراض ثبوت جميع العوامل ماعدا خصوبة التربة أي ماتحتوي التربة من عناصر غذائية جاهزة (نقص عنصر البوتاسيوم مثلاً) فسيكون البوتاسيوم دالة على خصوبة التربة . إنَّ المعادلة الآتية تعبر عن الانتاجية

المحصول = دالة (محتوى التربة من البوتاسيوم)
جميع العوامل الأخرى ثابتة

وقد حاول كثير من الباحثين تحديد نوع الدالة الرياضية التي تأخذها هذه العلاقة العامة حتى يمكنهم أن يضعوا العلاقة بين المحصول والعامل المتغير أو العوامل المتغيرة بأحدى الحالتين .

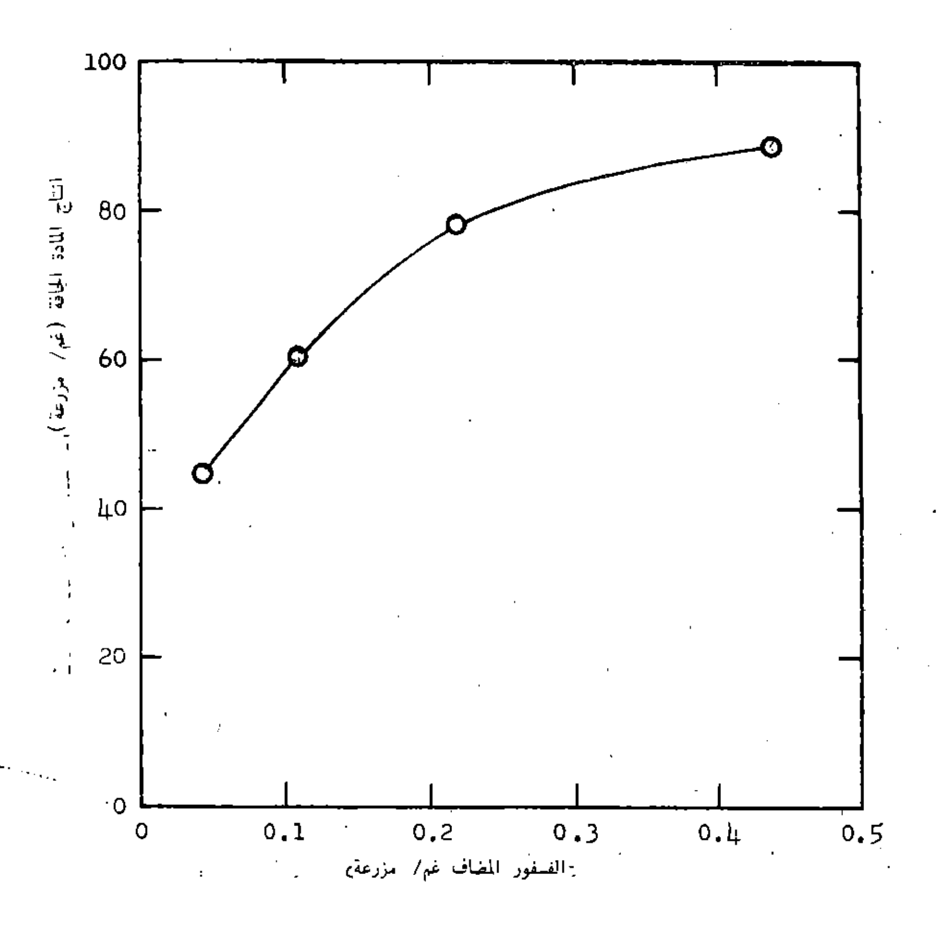
1- وصف العلاقة من خلال معادلات رياضية .
2- وصف العلاقة من خلال معادلات إحصائية .

ويعتقد البعض بأنه لا يمكن وصف العلاقة في كلا الحالتين ، وبشكل عام تعتبر الحالة الاولى اكثر أستعمالاً .

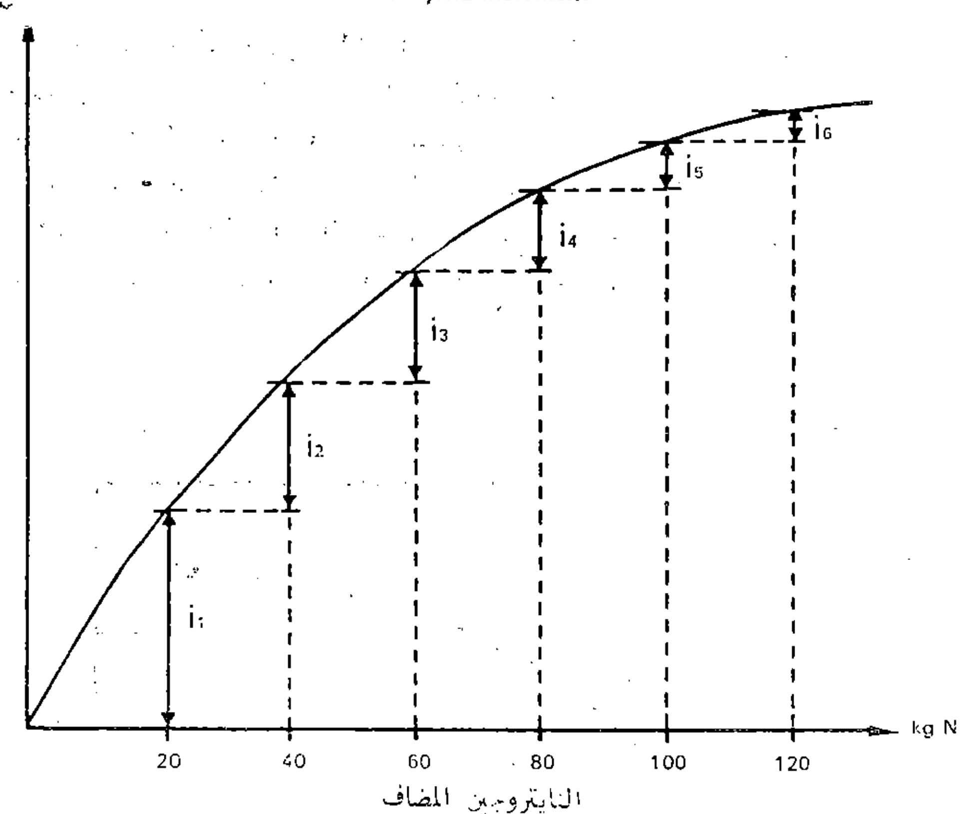
إن اول من درس هذه العلاقة (Liebig, 1855) و (Sprengel, 1839) وقد توصلوا الى قانون يصف العلاقة اطلق عليه قانون الحد الأدنى Law of the minimum إن نقص أو غياب أي عامل من عوامل النمو (العامل المحدد للنمو) أي وجوده بكمية أقل عما يحتاجه النبات سيكون له تأثير على نمو الحاصل وإن اضافة هذا العامل الى التربة يؤدي الى زيادة الانتاج زيادة نسبية ثابتة ، ولكن اضافة أي عنصر آخر ليس له تأثير على طبيعة العامل المحدد وكذلك الانتاج . أي ان العلاقة بين كمية العامل المحدد المضاف والانتاج عبارة عن خط مستقيم .

وقد حاول (Mitscherlich, 1909) أن يثبت صحة رأي Liebig بأجراءه تجربة اعتبر عنصر الفسفور هو العامل المحدد . حيث وفر جميع عوامل النمو

الاخرى لنبات الشوفان Oats واضاف الفسفور على هيئة سوبرفوسفات وبأربعة مستويات (الشكل ـ 12) ، ولكنه لم يحصل على خط مستقيم كما كان متوقعاً وفقاً لقانون Liebig ، بل حصل على منحنى يعبر عن أن الزيادة في الحاصل ليست ثابتة بل تتناقص بزيادة إضافة عوامل النمو وإن قانون الغلة المتناقصة Law of the diminishing returns يوضح أنَّ معدل زيادة الانتاج نتيجة إضافة عنصر محدد يتناقص مع زيادة الكمية المضافة من العنصر (الشكل ـ 13) .



شكل (12) تأثير اربع مستويات من الفسفور المضافة على هيئة سماد السوبر فوسفات على المادة الجافة الناتجة من زراعة محصول الشوفان في مزرعة رملية **Sand culture** .



الشكل **(13)** منحنى الاستجابة كما يصفه قانون الغلة المتناقصة (استل من **Mengel & Kirkby, 1982)**

ويفهم من طبيعة القانون وتطبيقاته إن إضافة جرعة محددة (مثلاً 20 كغم نايتروجين حسب مايصفه الشكل ـ 13) ستؤدي الى زيادة الانتاج بمقدار (i_1) ولكن قدرة الجرعة الثانية (40 كغم نايتروجين) ستؤدي الى زيادة بمقدار (i_2) هذه الأخيرة أقل من الزيادة الاولى (**i_1**).. وللمقارنة فإن ماستفعله الجرعة السادسة (120 كغم نايتروجين) من تأثير على زيادة الانتاج (**i_6**) هو اقل من تأثير الجرعة الخامسة او الرابعة وهكذا يقل تأثير الجرعة السماوية بتوالي الاضافة.

والتعبير الرياضي عن وصف Mitscherlich هو :

$$\frac{dy}{dx} = K\ (A-Y) \quad .... (1)$$

إذ y = الانتاج بعد إضافة العامل المحدد (x)

A = اقصى حد انتاجي maximum yield عند توفر جميع عوامل الانتاج

K = ثابت

وبتكامل المعادلة السابقة

$$\ln (A-y) = C-Kx \quad .... (2)$$

ولو افترضنا أن القيمة المضافة من عامل النمو = صفراً ، اي أن x = صفراً فأن الحاصل الناتج سيكون مساوياً الى صفر ايضاً (y = صفر) .

$$\ln (A-O) = C-O \quad .... (3)$$

$$\ln A = C$$

وبعد التعويض عن قيمة $\ln A$ في معادلة (2) فتصبح المعادلة كالآتي

$$\ln (A-y) = \ln A-Kx \quad .... (4)$$

وبعد أخذ اللوغارتم الطبيعي للمعادلة (4) والتعويض عن قيمة K من خلال المعادلة التالية

$$C = K \times 0.434$$

فنحصل على الآتي :

$$\log (A-y) = \log A-Cx \quad .... (5)$$

$$\log \left(\frac{A-y}{A} \right) = -cx$$

إذن

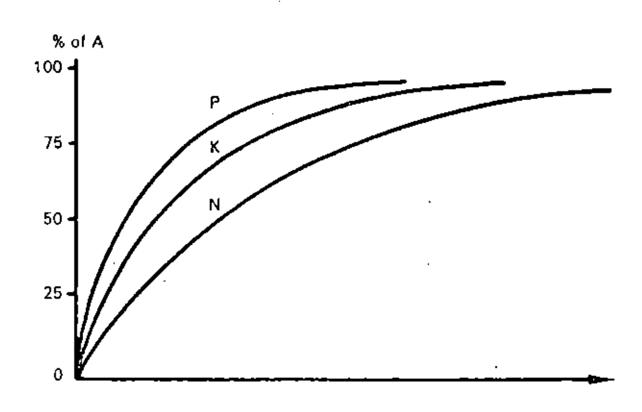
$$\frac{A-y}{A} = 10^{-cx}$$

$$A-y = A \,.\, 10^{-cx}$$

وبهذا سنحصل على .

$$y = A (1-10^{-cx})$$

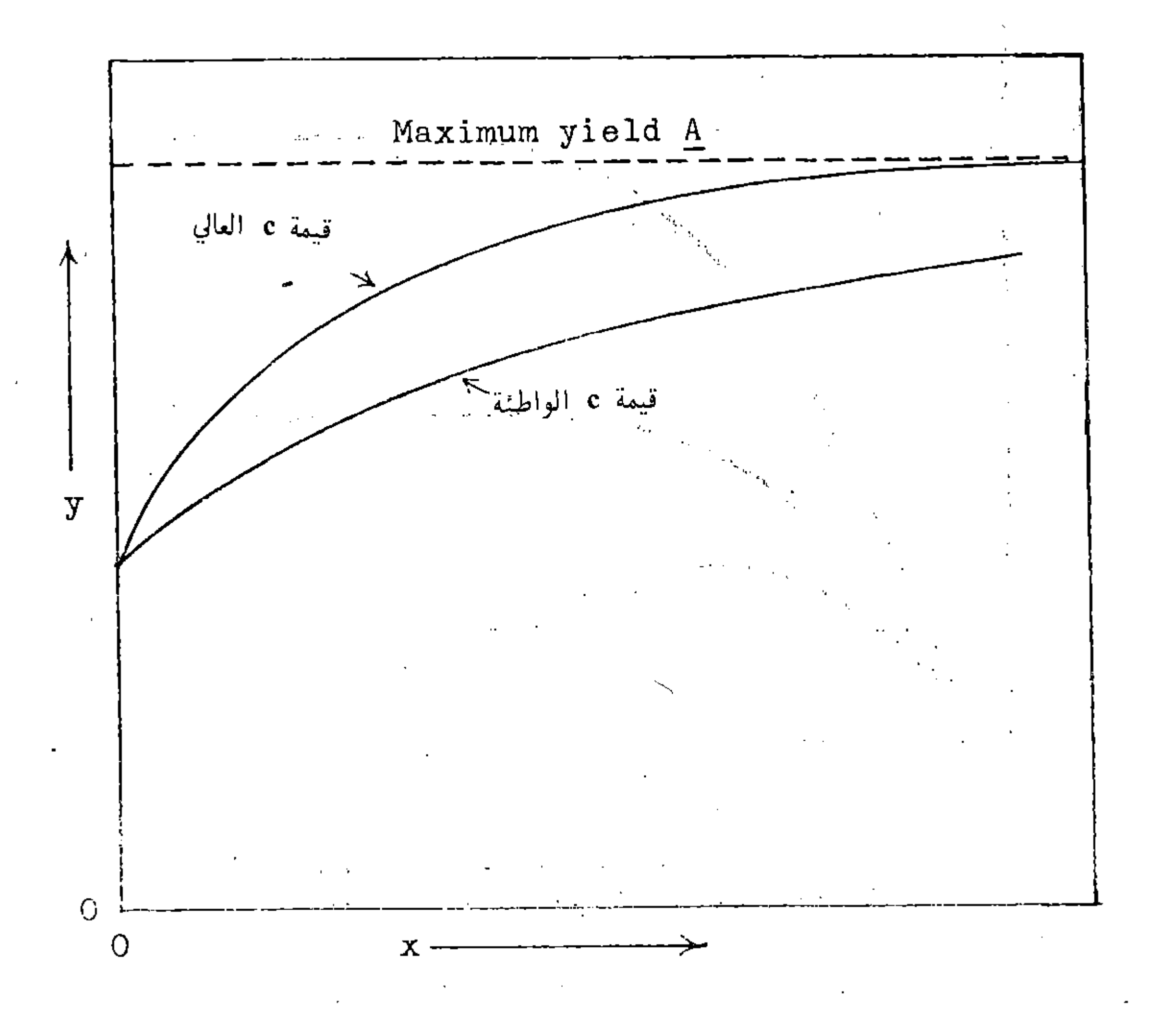
والمعادلة الأخيرة تمثل الصورة المبسطة لمعادلة Mitscherlich . وقد اثارت هذه المعادلة وبقية آراء Mitscherlich العديد من الاعتراضات والمناقشة ومنها ماحصل عليه (Von Boguslawski, 1958) من نتائج تشير الى الاختلاف في طبيعة المنحنيات لعوامل النمو المختلفة (النايتروجين والفسفور والبوتاسيوم) كما يوضح ذلك الشكل (14) ، وهذا يعني ان لقيمة «C» تأثير على نوع المنحنى



الشكل (14) منحنيات إستجابة الانتاج للنايتروجين والبوتاسيوم والفـفور
(V. Boguslawski, 1958)

الناتج عند إضافة اي متغير . وقد اوضح (Mitscherlich, 1954) أنّ لقيمة (C) تأثير على طبيعة المنحنى وأنّ القيمة العالية تعني الاحتياج الكبير من عامل النمو للوصول الى اقصى انتاجية (الشكل ــ 15) والعكس صحيح .

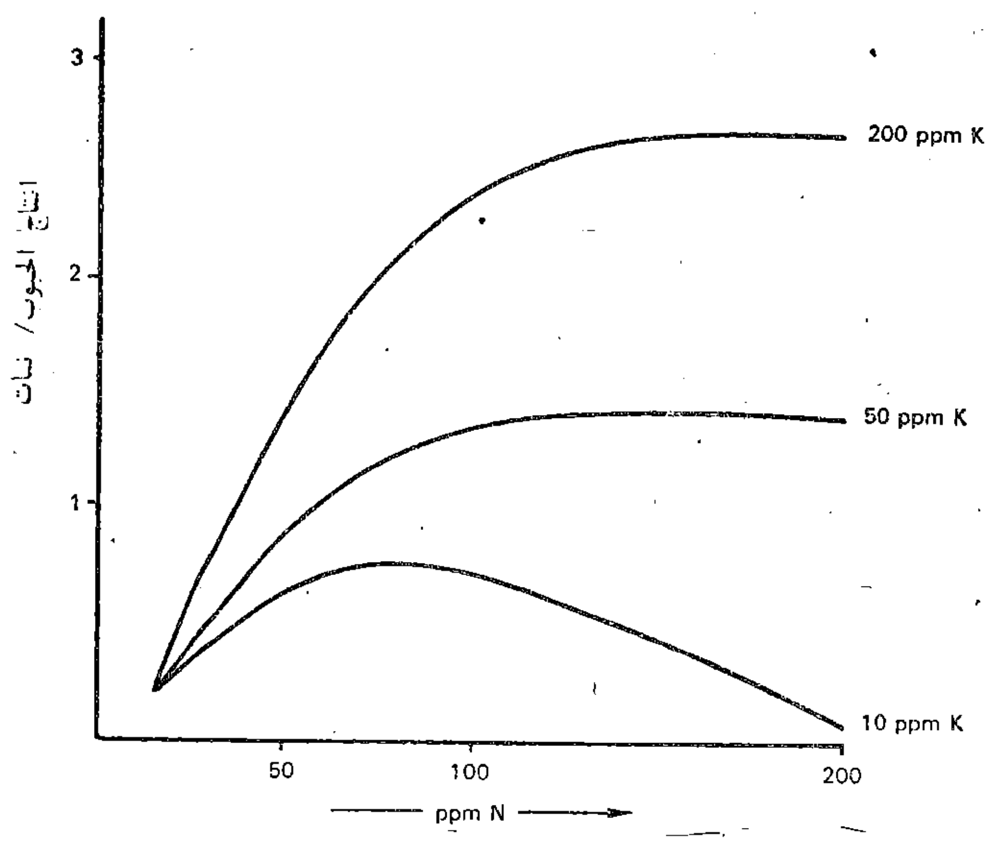
وعند محاولة استعراض رأي Mitscherlich حول تأثير إضافة أحد عوامل النمو الذي يوجد بمستوى غير محدد فإننا نرى وجود اختلاف عما فسره قانون Liebig بإن هذه الإضافة تزيد المحصول ايضاً وقد يرجع سبب ذلك لكون العنصر غير المحدد يساعد النبات على الحصول على مزيد من العنصر المحدد . ويعني هذا إن قيمة «y» تزداد بزيادة قيمة «A» التي تتوقف على جميع عوامل النمو بالاضافة للعامل «x» . وإن افضل مثال يوضح هذه العلاقة ماشار اليه (Macleod, 1969) من نتائج بنيت أن استجابة محصول الشعير للنايتروجين يتأثر بمستوى البوتاسيوم المضافة ، وإن المستوى العالي من البوتاسيوم يؤدي الى زيادة تأثير الجرعة النايتروجينية المضافة (الشكل ــ 16) .



الشكل (15) العلاقة بين قيمة «C» واقصى حد انتاجي

ولابد من الايضاح بإن الكمية المضافة من اي عنصر ستكون كافية لانتاج نسبة محددة من المحصول الذي يمكن إنتاجه . وأنَّ ماسيضيفه عاملان او اكثر على المحصول تحدده الجرعة المضافة من اي عامل ومدى توفره قبل الاضافة . ومن خلال ذلك يمكن وصف الحاصل بالمعادلة الآتية :

$$Y = A_{max.} (1 - e^{-C1X1}) (1 - e^{-C2X2}) ---- (1 - e^{-CnXn})$$



الشكل (16) تاثير زيادة مستويات النايتروجين عند ثلاثة مستويات مختلفة من البوتاسيوم على انتاج حاصل الحبوب لمحصول الشعير **(Macload, 1969)**

إذ أن $x_1, x_2, \ldots x_n$ تمثل الكمية الجاهزة من العنصر الغذائي او مستلزمات النمو الأخرى . إما $C_1, C_2, \ldots C_n$ ثوابت العوامل المحددة . ومن أجل ايضاح المعادلة السابقة سنفترض وفرة جميع عوامل النمو ماعدا محتوى التربة من الفسفور حيث إنه متوفر بكمية تسد 0.9 من الانتاج الكلي . وبهذا فإن الحاصل يمكن تمثيله بالآتي :

$$y = 0.9 \ A_{max.}$$

ولو حاولنا ايضاً الافتراض بأن جميع عوامل النمو متوفرة ماعدا محتوى التربة من البوتاسيوم وإن وفرته تدفع الانتاج بحوالي 0.5 من الانتاج الكلي فإن الحاصل يمكن تمثيله بالآتي

$$y = 0.5 \ A_{max.}$$

ان غياب كلٍ من البوتاسيوم والفسفور معاً بإعتبارهما عوامل محددة للنمو تجعل قيمة الحاصل الكلي ممثلة بالآتي

$$y = (0.9)\ (0.5)\ (A_{max.})$$
$$= 0.45\ A_{max.}$$

إن غياب عاملين معا يؤثر على الانتاج وهذا المبدأ يختلف عن رأي Leibig الذي يرى فقط هنا أنَّ البوتاسيوم هو العامل المحدد لانه اكثر تأثيراً على المحصول من الفسفور ، لذا لم يعتبره عاملاً محدداً .

أما (Bauel, 1918) فقد اشار الى أن اضافة جرعة من عامل النمو ينتج نصف اقصى حد انتاجي maximum yield . ولو أفترضنا قيمة «C» تساوي 0.301 وأن قيمة اقصى إنتاج ستمثل 100% وبذلك تمثل المعادلة (5) بالآتي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301\ (x)$$

وإن قيمة (y) بعد اضافة مقدار واحد من عامل النمو ستساوي

$$\log (100-y) = \log 100-0.301\ (1)$$
$$\log (100-y) = 2-0.301$$
$$\log (100-y) = 1.699$$
$$100-y = 50$$
$$y = 50$$

وبعد أضافة مقدار مساوي لوحدتين (ضعف المقدار السابق) فإن قيمة «y» ستساوي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301\ (2)$$
$$\log (100-y) = 2-0.602$$
$$\log (100-y) = 1.398$$
$$100-y = 25$$
$$y = 75$$

وهذا يعني إن اضافة مقدار من عامل النمو ينتج نصف اقصى انتاج وإن إضافة مقدار تال مساوي للمقدار الاول تعطي نصف الفرق لاقصى انتاج والحصول السابقة اي

$$\frac{100-50}{2} = 25\%$$

قيمة «C» تساوي 0.301 وأن قيمة اقصى إنتاج ستمثل 100% وبذلك تمثل المعادلة (5) بالآتي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (x)$$

وإن قيمة (y) بعد اضافة مقدار واحد من عامل النمو ستساوي

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (1)$$
$$\log (100-y) = 2-0.301$$
$$\log (100-y) = 1.699$$
$$100-y = 50$$
$$y = 50$$

وبعد أضافة مقدار مساوي لوحدتين (ضعف المقدار السابق) فإن قيمة «y» ستساوي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (2)$$
$$\log (100-y) = 2-0.602$$
$$\log (100-y) = 1.398$$
$$100-y = 25$$
$$y = 75$$

وهذا يعني إن اضافة مقدار من عامل النمو ينتج نصف اقصى انتاج وإن إضافة مقدار تال مساوي للمقدار الاول تعطي نصف الفرق لاقصى انتاج والحصول السابق اي

$$\frac{100-50}{2} = 25 \%$$

وتعطي الإضافة الثالثة نصف الفرق بين المحصول الكلي بعد الاضافة الثانية واقصى إنتاج اي أن الزيادة ستساوي

$$\frac{100-75}{2} = 12.5$$

ويكون بذلك للمجموع الحاصل الناتج من الوحدات الثلاث يساوي 87.5% من اقصى انتاج . ويمكن وصف تأثير اضافة وحدات عامل النمو على الحاصل ومعدل زيادة الحاصل وصولاً لأقصى انتاج في الجدول الآتي :

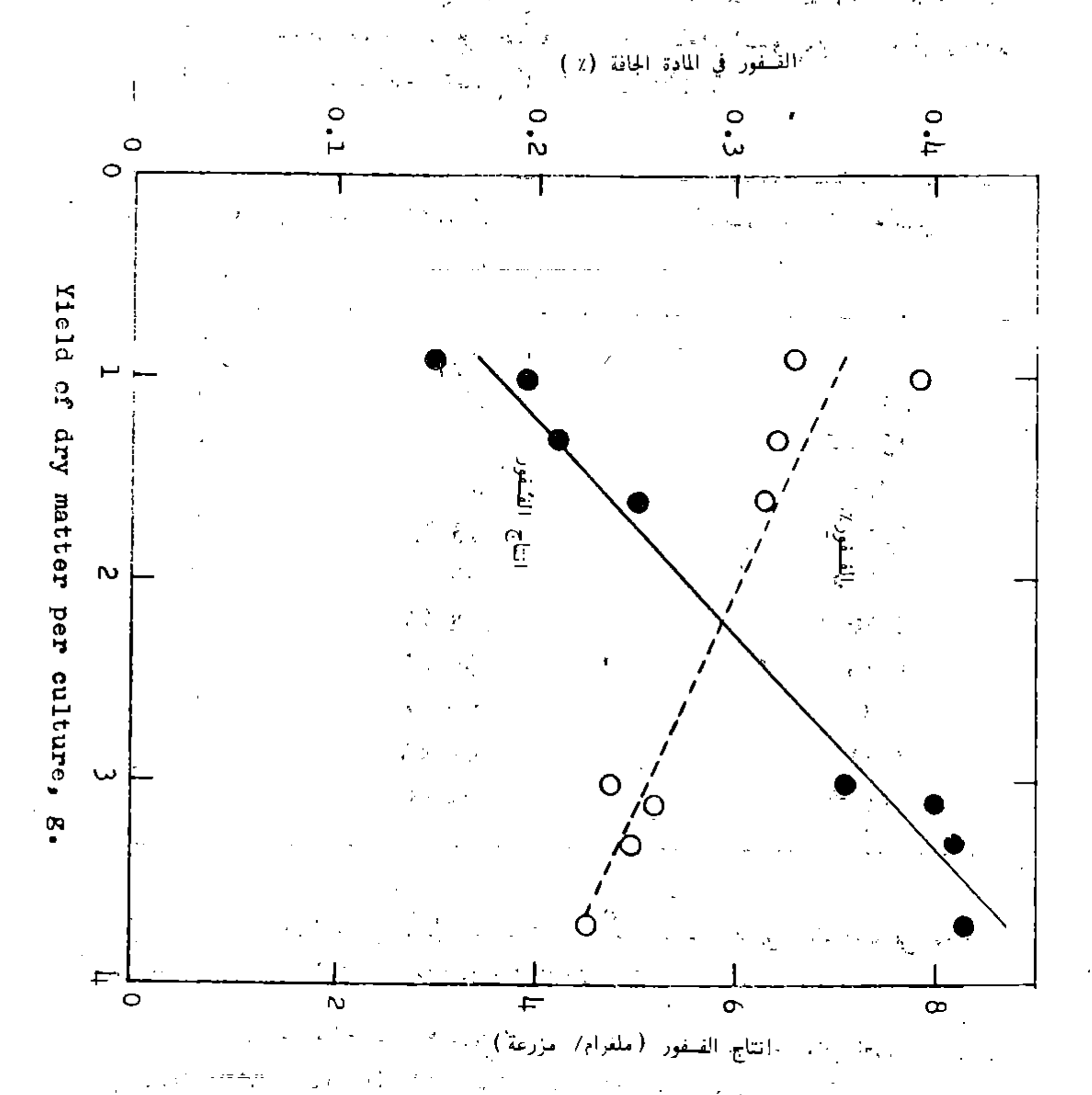
وحدات عامل النمو	المحصول %	معدل زيادة الحاصل %
0	0	-
1	50	50
2	75	25
3	87.5	12.5
4	93.75	6.25
5	96.88	3.125
6	98.44	1.562
7	99.22	0.781
8	99.61	0.390
9	99.80	0.195
10	99.90	0.098

وتعرف الوحدة المضافة من عامل النمو التي تعطي نصف اقصى حد انتاجي بوحدة Baule او دليل الاستفادة effeciency index .

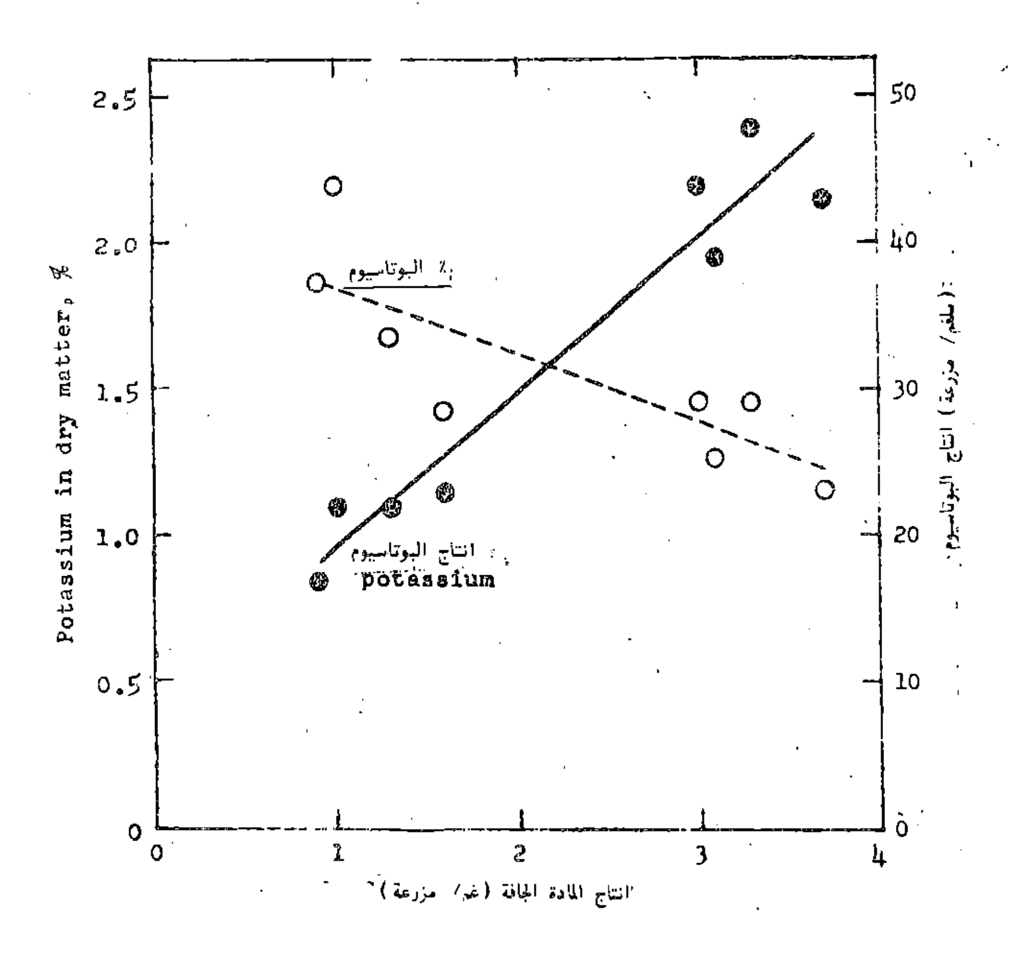
وقد حاول (Wilcox, 1948) أن يطور العلاقة الرياضية لمعادلة Mitscherlich واشار الى إن العلاقة بين الانتاج ومحتوى النبات من العنصر علاقة عكسية أي أن :

$$Y = \frac{K}{N}$$

على أن Y تمثل الانتاج و N تمثل محتوى محصول النايتروجين و K ثابت . ويعني هذا أن زيادة المحتوى المنخفض من العنصر في النبات يؤدي الى زيادة الانتاج . وقد عزز رأيه هذا بالكثير من التجارب (مثل نتائج تجربة Robinson, 1949) كما موضحة بالأشكال (17، 18) .



الشكل (17) العلاقة بين محتوى نبات البرسيم من الفسفور وانتاج الفسفور ـ إذ تمثل النقاط ثمان نباتات من البرسيم النامي وبشكل منفصل في تربة واحدة .(Robnison, 1942)



الشكل (18) العلاقة بين محتوى نبات البرسيم من الفسفور وانتاج الفسفور ـ إذ يمثل نتائج ثمان تجارب للبرسيم النامي وبشكل منفصل في نفس التربة **(Robinson, 1942)** .

لابد من الاشارة الى أن هنالك العديد من التجارب التي اثبتت فشل معادلات Mitscherlich-Baule-Wilcox لوصف نمو النبات (الانتاج) وعلاقته بخصوبة التربة . كما أن هنالك العديد من الآراء والابحاث العلمية التي تصف طبيعة هذه العلاقة بنجاح إذ تعددت المعادلات الرياضية والاحصائية المستخدمة . معادلات الانحدار Regression equations & والتجارب العاملية Factorial experiments وفكرة Bray لحركة المغذيات بالتربة Bray's Nutrients Mobility Concept قد أستخدمت معادلات Mitscherlich-Baule-Wilcox كأساس في وصف العلاقة بين خصوبة التربة والانتاج .

قائمة المصادر

1- Adams, F. and Lund, Z.F. (1966) Soil Sci. 101: 193-198.

2- Arnon, D.I. and Stout, P.R. (1939) Plant Physiol. 14: 371-375.

3- Arnon, D.I.; Fratzke, W.E. and Johnson, C.M. (1942) Plant Physiol. 17: 515-524.

4- Awad, K.M. (1982) Ph. D. Thesis, University of Aberdeen. Uk.

5- Barber, S.A. (1974) The plant root and its environment, pp. 525. 564. University Press of Virginia, Charlottesville.

6- Barber, S.A.; J.M. Walker, and Vasey, E.H. (1963) Agr. Food Chem. 11: 204-207.

7- Baule, B. (1918) Londw. Jahrb. 51: 363-385.

8- Black, C.A. (1968) "Soil-Plant Relationship" 2nd ed. Wiley, New York.

9- Boguslawski, E. Von (1958) Physiology, Vol. 4, p. 943-976.

10- Broyer, T.C., Carlton, A.B., Johnson, C.M. and Stout, P.R. (1954) Plant Physiol. 29: 526-532.

11- Cooke, G.W. (1975) "Fertilizing for maximum yield" Crosby, Lockwood & Son Ltd., London.

12- FAO. Annual Fertilizer Review 197. Rome 1979.

13- FAO. Fertilizer Yearbook 1981, Vol. 31. Rome 1982.

14- Fulton, J.M. and Erickson, A.E. (1964) Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 610-614.

15- Hopkins, H.T., Specht, A.W. and Hendricks, S.B. (1950) Plant Physiol. 25: 193-208.

16- Jackson, R.H. (1964) New Zealand Jour. Agr. Res. 7: 445-471.

17- Jenny, H. (1930) Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bul. 1952.

18- Lewis, D.G. and Quirk, J.P. (1967) Plant and Soil 26: 445-453.

19- Liaó, C.F.H. and Bartholomew, W.V. (1977) In: Proc. Int. sem. Soil env. and fertility management in intensive agricult. pp. 625-633.

20- Liebig, J. (1955) Friedrich Vieweg und Sohn. Braunschweig, pp. 23-25.

21- Lucas, R.E. and Davis, J.F. (1961) Soil Sci. 92: 177-182.

22- Macleod, L.B. (1969) Agron. J. 61: 26-29.

23- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principles of Plant nutrition. 3rd ed. Inter. Potash Inst. Bern.

24- Mitscherlich, E.A. (1909) Londw. Jahrb. 38: 537-552.

25- Mitscherlich, E.A. (1954) Soil Science for farmers 7th ed. Berlin, Hamburg.

26- Nye, P.H. (1979) The Soil-Root Interface. Academic Press. p. 39-49.

27- Pagel, H. (1983) The 6th International Scientific Conference. Karl Marx University Leipzig, GDR.

28- Ramig, R.E. and Rhoades, H.F. (1963) Agron. J. 55: 123-127.

29- Renger, M. and Strebel, O. (1976) Landw. Forsch. SH 33: 13-19.

30- Russell, E.W. (1973) "Soil Conditions and Plant Growth" 10th ed. Longman.

31- Savant, N.K. and Ellis, R. Jr. (1964). Soil Sci. 98: 388-394.

32- Sprengel

33- Trolldenier, G. (1971) Soil Biology, p. 116, Stattgart.

34- Viets, F.G. (1971) Bio. Science 21: 460-467.

35- Vlamis, J. (1953) Soil Sci. 75: 383-394.

36- Wilcox, O.W. (1948) In "Soil fertility & Fertilizers" 3rd ed. Inc. New York. London.

37- Williams, E.G. (1970) Anglo-Soviet Symposium on Agrochemical Res. on the use of Mineral Fertilizers, Moscow.

الفصل الثاني

النايتروجين Nitrogen

يعتبر عنصر النايتروجين من العناصر الغذائية الهامة في تغذية النبات . إذ يمتص النبات النايتروجين من التربة لسد إحتياجاته وبناء أنسجته المختلفة . فالنايتروجين يتحد مع المواد الكاربونية المتكونة في النبات ليكون مئات المركبات العضوية المختلفة التي منها البروتينات والحوامض الامينية والأمايد والفيتامينات ومئات المركبات النايتروجينية الأخرى مما يعكس أهمية دراسة هذا العنصر الغذائي .

إن معظم المركبات المعدنية في التربة مثل مركبات الكالسيوم ومركبات البوتاسيوم والحديد وغيرها نشأت من تحلل الصخور الاصلية أو المعادن الأولية أو الثانوية المكونة لهيكل التربة . أما النايتروجين الموجود بالتربة فمصدره الأصلي هو الهواء الجوي ، إذ يشكل النايتروجين 79.8% من حجم الهواء الجوي . فقد أشار Delwiche (1970) الى أن الهواء الجوي يحتوي على 3.8×10^{15} طن من النايتروجين . وبالطبع فإن النباتات غير قادرة على الاستهلاك المباشر للنايتروجين الجوي ، بل إنَّ الاستفادة تقتصر لحد ما على أنواع قليلة جداً من الاحياء الدقيقة التي تقوم بتحويله الى مركبات عضوية خلال عملية خاصة يطلق عليها "تثبيت النايتروجين nitrogen fixation" . وتتلخص هذه العملية بقيام انواع مختلفة من الاحياء الدقيقة التي تمتلك القدرة على إختزال النايتروجين الجوي الى NH_3 تحت ظروف خاصة من الحرارة والضغط ومن ثم يتحول الى مركبات عضوية وبذلك تؤدي هذه الاحياء دوراً هاماً في تحديد طبيعة دورة النايتروجين nitrogen cycle حيث تمسك صمام تحويل جزيئات النايتروجين الجوي الى مركبات عضوية . ولا يمكن التقليل من اهمية هذه العملية في زيادة محتوى الترب من النايتروجين . فقد أكد (Chatt, 1976) بأن الكمية الكلية من النايتروجين المثبتة بايلوجياً في

انحاء العالم تكون بحدود 17.2×10^7 طن لكل موسم وبالطبع فإن هذا الرقم يفوق بأربع مرات كمية النايتروجين المصنعة كيمياويا .

أما الاحياء المسؤولة عن تثبيت النايتروجين الجوي فهي :

1- انواع مختلفة من الطحالب الزرقاء المخضرة
Blue-green algae

2- البكتريا الحرة : اهمها :

(أ) الازوتوباكتر **Azotobacter** ، وهي بكتريا هوائية تنتشر في مختلف الترب ماعدا الحامضية ذات pH أقل من 6 .

(ب) الكلوستريديوم **Clostridium** ، وهي بكتريا لاهوائية ، تختلف عن الازوتوباكتر في قدرتها على تثبيت النايتروجين في الترب الحامضية ذات pH أقل من 6 .

إن قدرة البكتريا الحرة على تثبيت النايتروجين تحت الظروف الاعتيادية تكون محدودة بسبب حاجتها مصدر للطاقة . وتتراوح الكمية المثبتة بواسطة هذه البكتريا بين 5-10 كغم نايتروجين / هكتار (Krikby and Mengel, 1979) .

3- كائنات دقيقة تثبت النايتروجين بالتكافل مع كائن حي اخر

(أ) **بكتريا العقد الجذرية والمحاصيل البقولية . إن اهم الاجناس التي تعيش تكافلياً** Symbiotic مع جذور البقوليات Legume هي Rhizobium . ولهذا النوع من النشاط التكافلي أهمية اقتصادية كبيرة لمساهمته الفعالة في تثبيت النايتروجين الجوي . فقد أشار (Stewart, 1967) الى أن قابلية البرسيم والجت على تثبيت النايتروجين الجوي يتراوح تحت أفضل ظروف النشاط بين 100-400 كغم نايتروجين لكل هكتار سنوياً .

(ب) تثبيت النايتروجين الجوي بواسطة بكتريا العقد الجذرية التي تتكافل مع النباتات غير البقولية مثل نباتات الكازورينا .

(جـ) تثبيت النايتروجين الجوي بواسطة نباتات Cycads إذ تمتاز النباتات التابعة لهذه المجموعة بكون جذورها القريبة من سطح التربة تحمل تركيبات قريبة الشبه بالعقد الجذرية وبداخلها طحلب أخضر مزرق . وتحصل عملية التثبيت من خلال المعيشة التكافلية للأثنين .

(د) تثبيت النايتروجين بواسطة عقد خاصة بداخلها انواع من البكتريا مثل الازوتوباكتر Azotobacter والبيجيرنكا Beijerickia تحملها اوراق بعض

النباتات . وكان (Guinen, 1961) أول من لاحظ مثل هذه العقد على اوراق محاصيل القطن والقهوة .

(هـ) تثبيت النايتروجين بواسطة احياء دقيقة نامية في المنطقة الجذرية :

(1) التثبيت بواسطة الفطريات التي تعيش تكافلياً مع جذور النباتات .

(2) بعض المحاصيل الزراعية مثل الرز والذرة الصفراء والحنطة والبنجر السكري وكذلك بعض انواع محاصيل المراعي والنباتات المائية التي تحمل جذورها أحياء دقيقة معينة من جنس الازوتوباكتر حيث توجد هذه الاحياء الدقيقة داخل مواد هلامية على المجموع الجذري حسب ماوصفها (Neyra and Dobereiner, 1977) .

وتختلف قابلية هذه المجاميع في تثبيت النايتروجين الجوي حسب اختلاف الظروف المحيطة من pH الوسط وتركيز الاوكسجين ودرجة الحرارة والكمية الجاهزة من الفوسفور والبوتاسيوم والحديد والمولبيديوم وغيرها وكذلك المحتوى الرطوبي للتربة ومحتوى المادة العضوية .

وبالاضافة لما سبق أيضاحه ، فأن النايتروجين الجوي قد يثبت كيمياويا وفقا لطريقة هابر ـ بوش Haber-Bosch method حيث يتفاعل (N_2) الجوي مع الهايدروجين (H_2) تحت ظروف عالية من الحرارة والضغط مكونا امونيا

$$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$$

ولابد من الاشارة الى أن ماتمثله الكمية المثبتة من النايتروجين الجوي كيمياويا قليلة جدا بالمقارنة مع كمية النايتروجين المثبتة بايلوجيا . ويوضح الجدول (1) الذي أورده (Hauck, 1971) معدل تثبيت النايتروجين الجوي بايلوجيا تحت ظروف مختلفة .

وقد يثبت النايتروجين الجوي من خلال إشتراك النايتروجين الجوي في الشحنة الكهربائية خلال عملية البرق التي تؤدي الى اكسدة النايتروجين (N_2) وفقا للآتي :

$$N_2 + O_2 \longrightarrow 2NO$$
$$3NO + 3O_2 \longrightarrow 3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO$$

جدول (1) معدل تثبيت النايتروجين الجوي بايلوجيا تحت ظروف مختلفة (Hauck, 1971).

النظام	متوسط التثبيت كغم نايتروجين/ هكتار/ سنويا
ارض منزرعة	28-7
ارض مزروعة بمحاصيل علف غير بقولية	114-7
ارض مزروعة بمحاصيل علف بقولية	865-73
غابات	594-58
حقل أرز	99-13
مياه (بحار + الانهار)	250-70

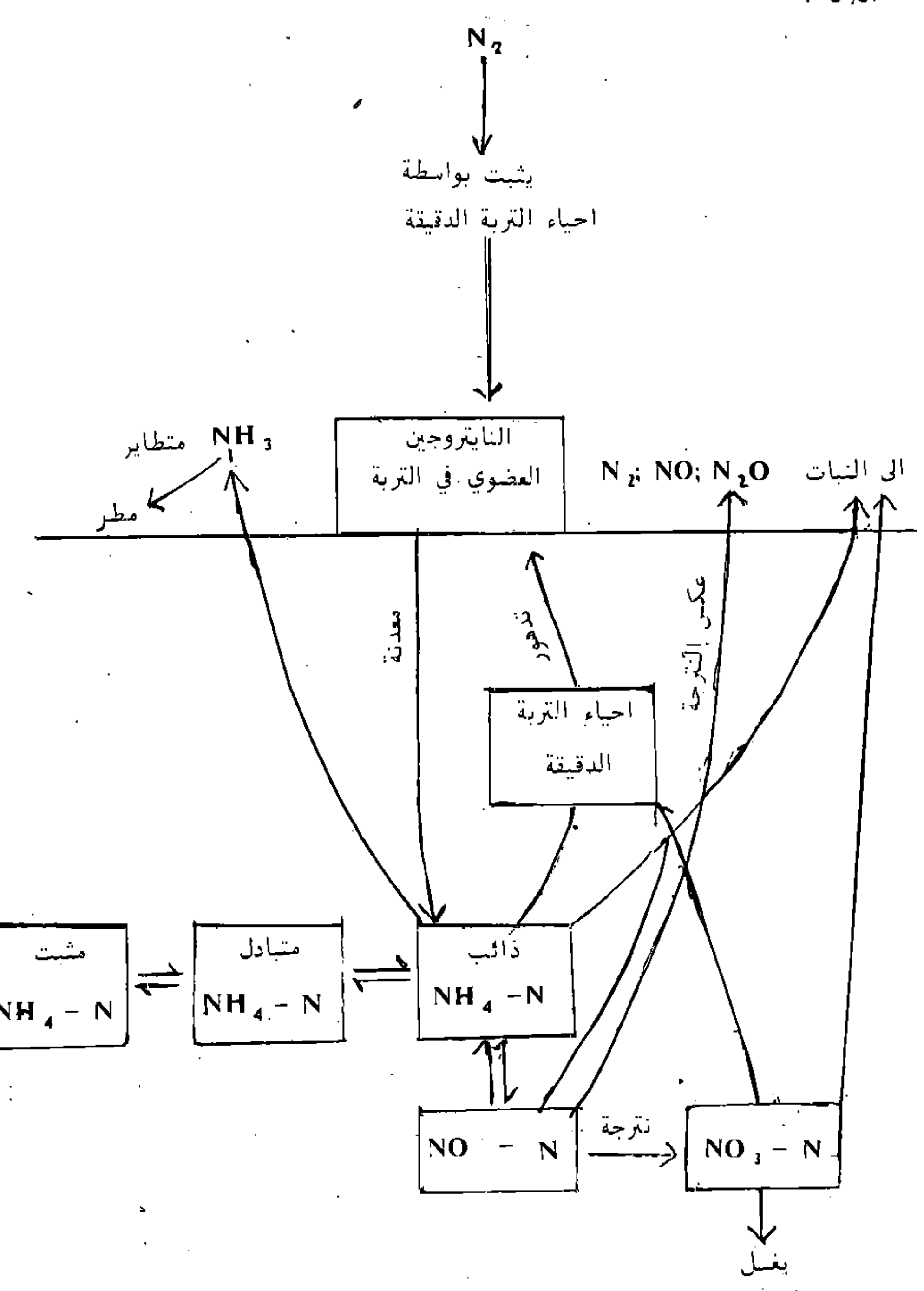
وتكون الكمية التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة قليلة جدا أي بحدود بضع كيلوغرامات لكل هكتار سنوياً . وقد تصل هذه الكمية في المناطق الاستوائية الى مايقرب من 15 كغم نايتروجين/ هكتار/ سنويا . كما تساهم الامطار في ترسيب كمية كبيرة من النايتروجين الجوي التي قد تتراوح مابين 10-60 كغم نايتروجين/ هكتار وهذا بالطبع لايكفي لسد الاحتياجات النايتروجينية المطلوبة من قبل المحاصيل الزراعية .

ومن خلال عملية تثبيت النايتروجين الجوي بايلوجيا يتحول النايتروجين الى صور عضوية من خلال تحوله الى احماض امينية وبروتينات (Mengel, 1979) وبذلك يمكن اعتبار هذه الحالة نقطة بداية تجمع النايتروجين accumulation of nitrogen بالتربة بهيئة مركبات عضوية مختلفة .

دورة النايتروجين Nitrogen cycle

بعد عملية تثبيت النايتروجين الجوي يتحول الى مركبات نايتروجينية عضوية في اجسام الاحياء الدقيقة والنباتات النامية ، وتتحول هذه المركبات العضوية من خلال عملية معدنة النايتروجين nitrogen mineralization الى صور معدنية متعددة . وقد تستخدم انواع من احياء التربة الدقيقة . النواتج المعدنية لصور النايتروجين لتحولها الى مكونات عضوية في اجسامها من خلال عملية التدهور Immobilization أو تساهم في تحويلها الى صور نايتروجينية غازية . ومن خلال هذه الصورة المبسطة يبدو لنا أن النايتروجين بالصورة العضوية واللاعضوية يتعرض الى تغيرات عديدة تؤثر بشكل جوهري على جاهزية النايتروجين للنبات ومدى

الاستفادة منه . والشكل (١) يمثل صورة عامة لدورة النايتروجين بالطبيعية والتي سنحاول لاحقاً شرح جوانبها المختلفة مع إيضاح تأثير ذلك على طبيعة خصوبة التربة .



شكل (1) دورة النايتروجين في التربة والجو (Sahrawat, 1979) .

معدنة النايتروجين العضوي Mineralization of organic nitrogen

يطلق على عملية المركبات العضوية النايتروجينية الى صور نايتروجينية معدنية بهيئة أيون الامونيوم ammonium ion وايون النترات nitrate ion بمعدنة النايتروجين العضوي . وكما سبق أن أوضحنا فأن لنشاط احياء التربة الدقيقة دوراً هاماً في مسيرة هذه العملية . ويمكن تقسيم عملية معدنة النايتروجين العضوي الى مرحلتين رئيسيتين هي :

اولاً : ـ عملية النشدرة Ammonification

يقصد بعملية النشدرة تحول المركبات العضوية النايتروجينية الى ايون الامونيوم وتتم هذه العملية بخطوتين ، الاولى تتحول المركبات البروتينية الى أحماض امينية amino acids بواسطة احياء التربة الدقيقة .

$$\text{Soil organic-N} \longrightarrow R\text{-}NH_2 + CO_2 + \text{other products} + \text{energy}$$

(نواتج أخرى) (طاقة)

ثم تقوم احياء التربة الدقيقة بتحويل الاحماض الامينية ($R\text{-}NH_2$) الى امونيا التي تكوّن بدورها أيون الامونيوم

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + ROH + \text{energy}$$

$$+ H_2O \qquad (\text{طاقة})$$

$$NH_4^+ + OH^-$$

ويمكن ايجاز الاحتمالات التي سترافق ايون الامونيوم المتكون في التربة بالآتي : ـ

(١) يدخل في تفاعلات التبادل الأيوني .
(2) قد يمتص من قبل النباتات النامية .
(3) يستغل من قبل احياء التربة المحللة للمادة العضوية .
(4) يثبت في غرويات التربة التي تمتاز بقابليتها التثبيتية .
(5) قد تتطاير الامونيا المتكونة قبل تحويلها الى ايون الامونيوم بالأخص عند توفر الظروف المناسبة لذلك .

(6) يكون فقد ايون الامونيوم أثناء الري (الفقد بالغسل) محدودا وقد يكون معدوماً . فقد أشار (Enzmann, 1983) الى أن زيادة نسبة الطين يقلل من كمية الامونيوم المتحركة مع الماء الأرضي .

(7) قد يتحول ايون الامونيوم بفعل احياء متخصصة الى نترات من خلال عملية النترجة nitrification .

وتساهم احياء التربة الدقيقة من بكتريا وفطر والاكينتومايسيت actinomycetes في عملية تحلل النايتروجين العضوي وتحرر أيون الامونيوم . ولابد من مناقشة العوامل التي تؤثر على عملية النشدرة وبالأخص مايتعلق منها بتركيب المادة العضوية والظروف المحيطة بعملية التحلل .

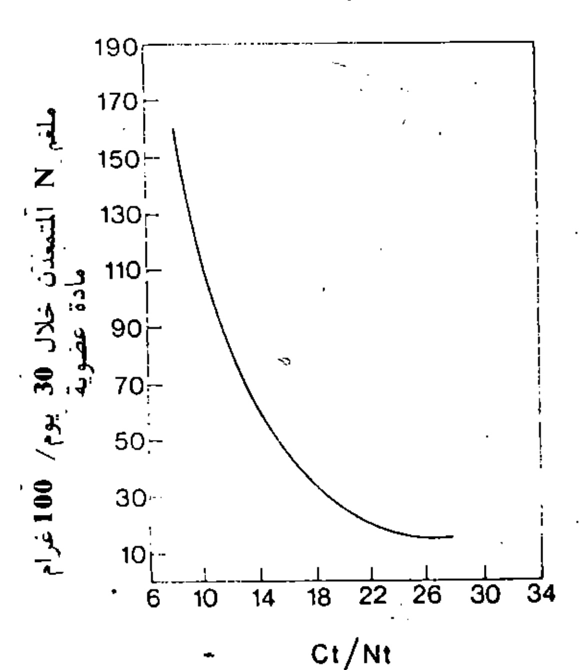
١ ـ نسبة الكاربون الى النايتروجين

تلعب نسبة الكاربون العضوي الى النايتروجين ($\frac{C}{N}$ratio) دورا هاما في عملية تفسخ المادة العضوية . وتتراوح هذه النسبة بين $\frac{8.5}{1}$ – $\frac{15}{1}$ حسب ماأورده (Russell, 1973) . وإن الحصول على قيمة لهذه النسبة بما يساوي 10 يدلل على ظروف التربة الزراعية الجيدة التهوية . إننا لن نحاول هنا أن نتطرق بالتفصيل الى دراسة ميكانيكية تحلل المادة العضوية . بل لابد من الاشارة الى انه كلما كانت نسبة الكاربون الى النايتروجين واسعة أي أن المادة العضوية تحتوي على نسبة واطئة من النايتروجين فإن ذلك يعني الاستهلاك لجميع النايتروجين من قبل الاحياء الدقيقة المحللة في بناء أنسجتها ولا ينتج عن ذلك أي تحرر للامونيا . بل أن زيادة الكاربون في المادة العضوية قد يدفع الكائنات الدقيقة الى استعمال النايتروجين المعدني المضاف أو الموجود أصلا بالتربة . لذا يمكن القول بأن معدل تحلل مخلفات البرسيم المضافة للتربة اسرع من تحلل قش القمح Wheat straw بسبب أتساع نسبة (C/N) في الأخير . ويوضح الشكل (2) العلاقة بين معدل معدنة النايتروجين العضوي ونسبة الكاربون الى النايتروجين الموجودة بالمخلفات العضوية .

ويمكن الأستنتاج بشكل واضح أن النايتروجين المتحرر من عملية المعدنة يكون اكبر عندما تكون المادة العضوية غنية بالنايتروجين . والجدول (2) يشير الى معدل معدنة النايتروجين خلال فترة عام في ترب مختلفة النسجة وتأثير نسبة الكاربون الى النايتروجين على ذلك .

وتختلف قدرة الاحياء الدقيقة على تحلل المواد العضوية وفقا للتركيب الكيمياوي العام لهذه المواد . فالمواد الحاوية على كمية عالية من الكنين تكون

اكثر تعقيداً في تحللها من المواد الحاوية على البروتين . كما أن امتصاص الأنزيمات المحللة للمواد البروتينية بواسطة معادن الطين يقلل من نشاط هذه الانزيمات ومساهمتها في عملية تحلل المادة العضوية .



شكل (2) العلاقة بين معدل معدنة النايتروجين ونسبة الكاربون الى النايتروجين (C/N ratio) في المخلفات العضوية (Van Dijk, 1968) .

جدول (2) كمية النايتروجين الكلي في الطبقة السطحية (0-20 cm) وتأثير نسبة الكاربون الى النايتروجين على معدل المعدنة (Vomel 1965/1966) .

انسجة التربة	C/N ratio نسبة الكاربون / النايتروجين	كمية النايتروجين الكلي بالتربة Kg/ha	معدل المعدنة Kg/ha/year	نسبة النايتروجين المتحرر بعملية المعدنة الى الكمية الكلية
رملية	12.5	1590	9	0.57
مزيجية	8.7	4650	43	0.93
مزيجية	9.4	2850	11	0.39
طينية	9.8	4950	36	0.73

ولابد من الاشارة الى وجود مدى حرج Critical range لقيم نسبة الكاربون الى النايتروجين وكذلك لقيم النايتروجين بالمخلفات العضوية ومن خلال هذا المدى يمكن تحديد قابلية هذه المخلفات العضوية لتحرر نايتروجين معدني لمحلول التربة أم لا . كما أن اغلب المصادر العلمية تحدد المدى لقيمة نسبة الكاربون الى النايتروجين بين 15 الى 33 . والنسبة المئوية لمحتوى المخلفات من النايتروجين هو من 1.2 الى 2.6 . ولا يمكن التقليل من أهمية هذه القيم بالأخص عندما تكون هنالك رغبة في تفضيل نوع من المخلفات العضوية دون غيره لحصر الفائدة في الحصول على كمية اكبر من النايتروجين .

2- الظروف البيئية المحيطه

تؤدي الظروف البيئية من درجة حرارة ورطوبة وتهوية و pH وغيرها دورا كبيراً في تحديد طبيعة نشاط احياء التربة الدقيقة المساهمة في عملية معدنة المركبات النايتروجينية العضوية . وعندما نرغب في معرفة أفضل الظروف فلابد من دراسة هذه العوامل بشكل منفرد وبحالتها المتداخلة . ولو حاولنا القول بأن لـ (pH) التربة دور كبير في تحديد عملية المعدنة فإن القلوية تزيد من عملية المعدنة وأن أفضل قيم الـ pH في الترب المناسبة لهذه العملية هي 6.5-8 كما تشير الى ذلك معظم المصادر العلمية . كما أن أفضل مدى لدرجة الحرارة من 35-45°م ، والانخفاض عن هذا الحد والتجاوز عليه يعرقل هذه العملية .

عملية النترجة Nitrification

يطلق على عملية تحويل (الاكسدة البايلوجية) الامونيوم الناتجة من عمليه النشدرة أو المضافة الى التربة الى نترات nitrate بعملية النترجة . وتشمل هذه العملية خطوتين ، الاولى تتأكسد فيها الأمونيا الى نتريت nitrite بواسطة بكتريا هوائية مثل Nitrosomonas والتي تمثلها المعادلة التالية :

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{6e^-} 2HNO_2 + 2H^+ + 2H_2O$$

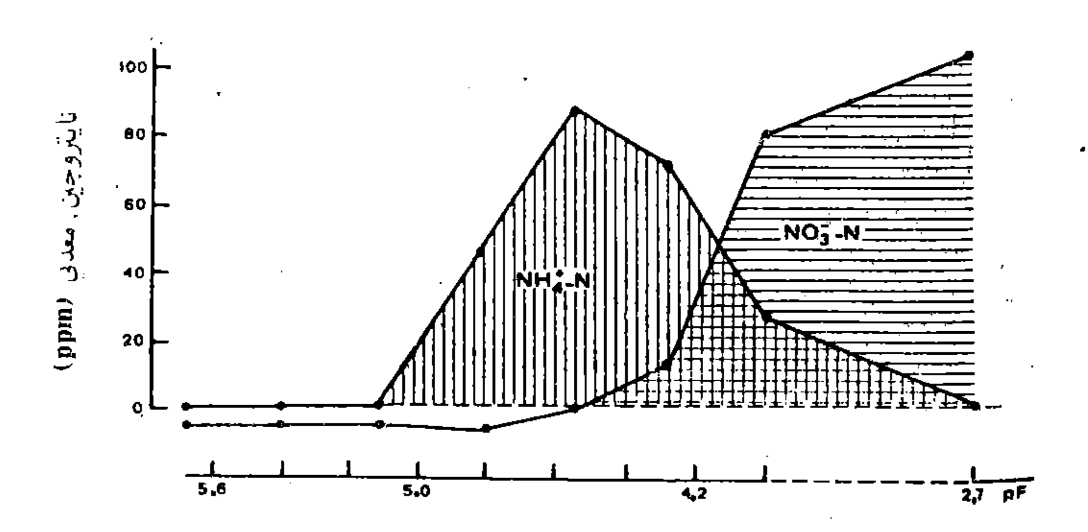
وقد اشار كثير من الباحثين (مثل Hofman and Lees, 1953) بأن هذه الخطوة تتم عبر خطوات ثانوية يتكون من خلالها مركبات وسطية مثل هايدروكسيل امين (Hydroxylamine) ونيتروكسيل (Nitroxyl) .

والخطوة الثانية لعملية النترجة تحول النتريت الى نترات بواسطة بكتريا خاصة مثل Nitrobacter

$$2HNO_2^- + O_2 \xrightarrow{6e^-} 2NO_3^- + 2H^+$$

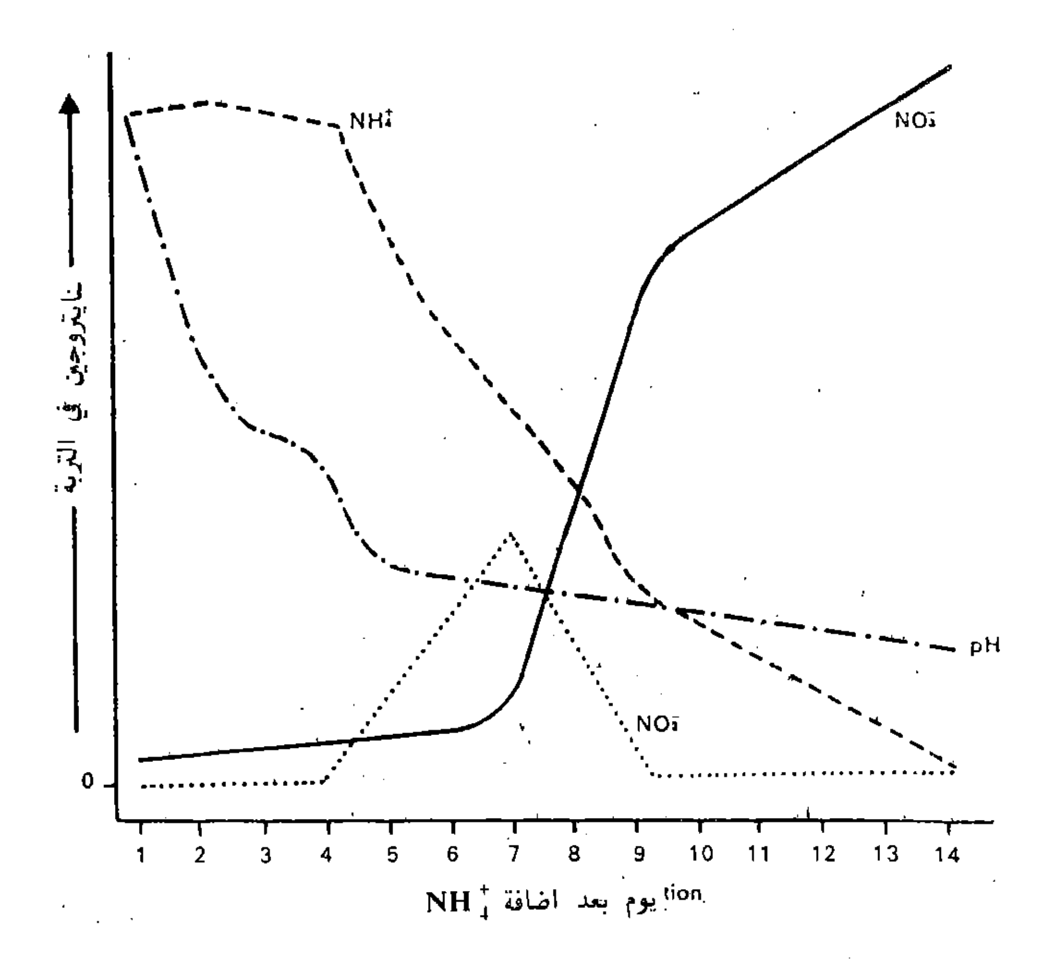
ومن خلال ماورد سابقاً يمكن تحديد الآتي : ـ

(1) إن عملية اكسدة الامونيوم تحتاج وفرة من الاوكسجين لذا فأن جميع العوامل التي تؤثر على التهوية بالتربة سيكون لها تأثيرا مباشرا على هذه العملية . لذا فأن عملية النترجة تتأثر بالرطوبة العالية (pF1.0-2.0) وقد تتعطل هذه العملية تماماً عند خلق ظروف لا هوائية كما يوضح ذلك الشكل (3) .



شكل (3) تأثير قيمة pF التربة على تجمع $NH_4^+ - N$ و $NO_3^- - N$ في تربة طينية (Dommergues, 1977).

(2) إن عملية النترجة تقلل من قلوية التربة بأستهلاكها للامونيوم وانطلاق ازواج من ايونات الهايدروجين الى الوسط مما يؤدي الى زيادة حموضة التربة (شكل ـ 4) . ولكن قد لا يحصل هذا الامر بشكل واضح في الترب العالية المحتوى من كاربونات الكالسيوم (الترب الكلسية) . وقد تكون هذه النقطة ذات جدوى علمية للتعرف على مدى تأثير عملية النترجة في خفض pH الترب العراقية ،الأخص ذات المحتوى العالي من كاربونات الكالسيوم .

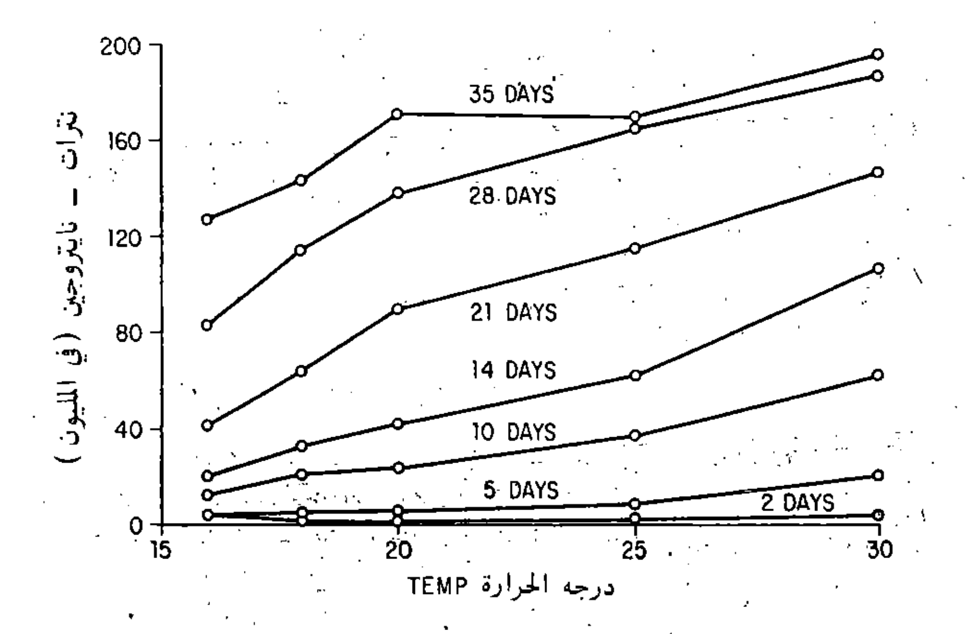


شكل (4) العلاقة بين اكسدة الامونيوم وتكوين النترات و pH التربة
(**Duisberg and Buehrer 1954**)

(3) تحتاج هذه العملية الى احياء تربة دقيقة متخصصة ومحددة لذا يجب مراعاة الظروف البيئية المناسبة لنشاطها . ولو حاولنا التطرق هنا الى حساسية هذه الاحياء مثلاً لظروف الحموضة ، نجد أن فعاليتها تكون أفضل في الترب المتعادلة والقلوية . ويمكن ملاحظة ذلك من النتائج التي أوردها (Munk 1958) في جدول (3) .

جدول (3) معدل نترجة آيون الامونيوم وعلاقتها بالرقم الهايدروجيني (أضيف 20 ملغم امونيوم ــ نايتروجين الى التربة).

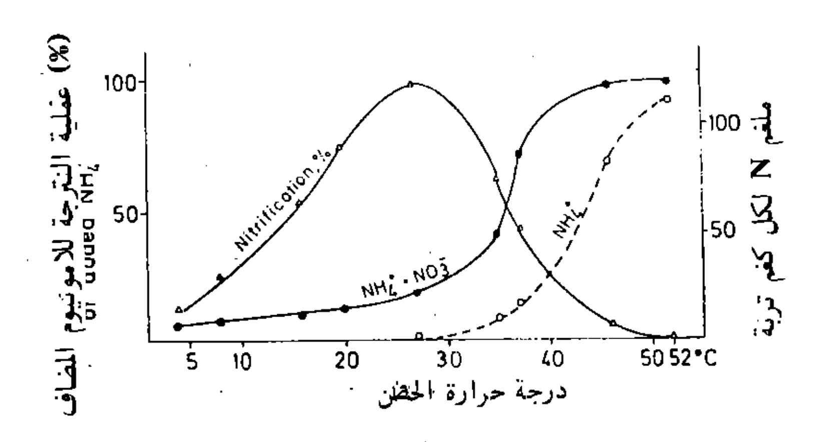
فترة الحضن باليوم	ملغم NO_3-N /100 غم تربة pH 4.4	pH 6.0
14	1.78	8
21	2.30	12.0
31	4.72	21.4



شكل (5) تأثير الوقت ودرجة الحرارة على عملية النترجة للامونيوم **(150 ppm)** المضافة الى تربة مزيجية غرينية خلال فترة حفن **35** يوم **(Parker et al, 1962)**.

وقد اشرنا سابقاً لتأثير الرطوبة على فعالية هذه الاحياء. أما العلاقة بين عملية النترجة ودرجة حرارة التربة فيوضحه الشكل (5) الذي يبين أن أفضل درجة حرارة هي 30°م لتعطي اقصى فعالية لاحياء التربة التي تساهم في هذه العملية. إن إنخفاض أو تجاوز هذه الدرجة الحرارية سوف يؤثر على عملية اكسدة الامونيا. ويجدر الاشارة الى أن أمثل درجة حرارة قد تختلف مع اختلاف الترب

والظروف المحيطة الاخرى . فقد وجد (Mahendrappa et al 1966) إن افضل معدل درجة حرارة 20-25°م لمجموعة أخرى في حين لاحظ (Bremner, 1967) أن 40°م تمثل افضل درجة حرارة لمجموعة أخرى من الترب الزراعية و (Myers, 1975) وأن 60°م افضل درجة حرارة للمجموعة ترب استرالية . أما (Beck, 1983) فقد حدد درجة 50°م على أنها افضل درجة حرارة لعملية النشدرة و 26°م لعملية النترجة (الشكل 6) .



شكل (6) تأثير درجة الحرارة على عملية النترجة وعلى تجمع ايونات NH_4^+ في التربة بعد فترة حفن لمدة 21 يوماً (Beck, 1983) .

ومن الطبيعي ان ندرس التأثيرات التي تسببها الاملاح على عملية المعدنة خصوصاً بعد تزايد مشكلات الملوحة في العديد من الاراضي الزراعية في العالم وانتشارها في مساحة شاسعة . فقد اشار (Limpan, 1912) الى حصول تثبيط لعملية النترجة بتراكيز (0.025 ، 0.35 ، 0.10)% من كل من كاربونات وكبريتات وكلوريد الصوديوم على التوالي . وبمقارنة الاحياء المنتجة للامونيوم مع احياء النترجة لاحظ (Greaves & Jones, 1941) أنَّ الأخيرة اكثر حساسية للاملاح من الاحياء الاولى ، واوضحا أنَّ الملح Na_2CO_3 اكثر تثبيطاً للنترجة من الملح Na_2SO_4 كما لاحظا ايضاً أنَّ الاملاح القاعدية تصبح مثبطة لاحياء النترجة قبل تثبيطها للعديد من النباتات الراقية . ففي دراسة (Johnson & Guenzi, 1963) لاحظا انخفاض عملية النترجة بزيادة التراكيز الملحية من كلوريد الصوديوم في حين لاحظا (Sindhu & Cornfield, 1967) أنّ املاح

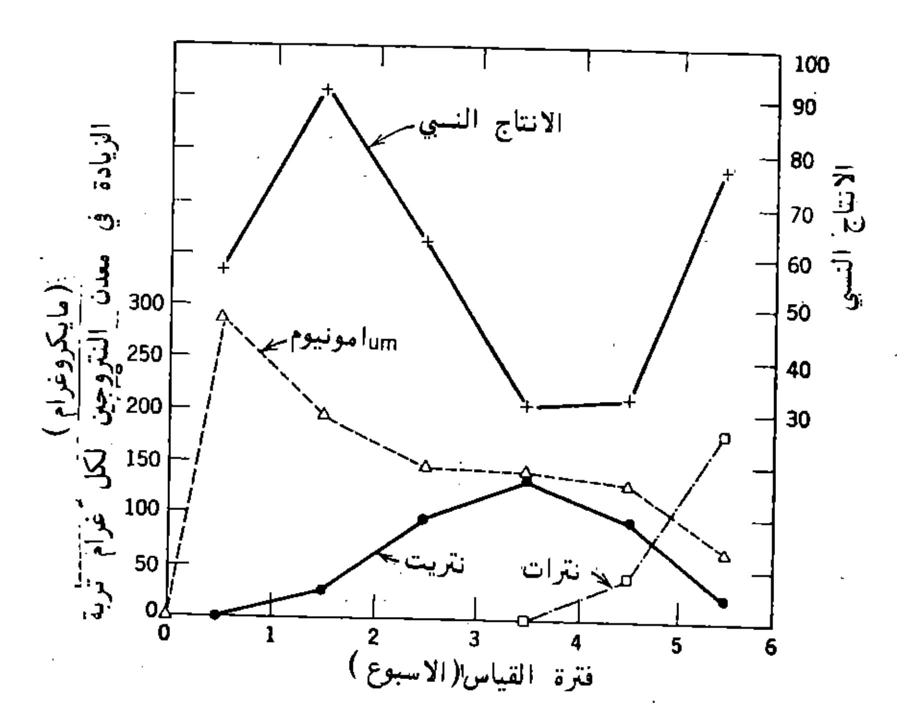
الكبريتات اقل تثبيطا للنترجة من الكلوريدات ، وهذا راجع الى حقيقة هي إن الكبريتات تتأيض ولا تتجمع في داخل الخلية البكترية في حين يتجمع الكلوريد بتراكيز مثبطة . ولكن (Heilman, 1975) لم يلاحظ تأثيراً لاملاح الكلوريد مع العملية في التراكيز الواطئة في حين ثبطت في التراكيز العالية .

وعند محاوله تحديد مسارات النترات المنتجة وحالتها من عملية النترجة أو المضافة بشكل مباشر للتربة يمكن بيان الآتي : --

(1) قد تمتص النترات من قبل النبات النامي او قد تستهلك مرة أخرى من قبل احياء التربة الدقيقة لبناء انسجتها ، والحالة الاخيرة تدفع ايون النترات للتدهور الى حالة يصعب الاستفادة منه من قبل النبات النامي .
(2) بسبب الشحنة السالبة التي يمتلكها ايون النترات فأن فقده اثناء الري مع الماء الأرضي يكون عالياً ، وسنحاول بيان هذه النقطة لاحقاً بشيء من التفصيل .
(3) تتعرض صورة ايون النترات في الظروف اللاهوائية الى عملية أختزال خاصة يطلق عليها عملية عكس النترجة Denitrification سنتطرق الى جوانبها المختلفة لاحقاً .

لقد حاولنا التركيز على الجوانب المختلفة من عملية المعدنة ولابد لنا من الاشارة الى اهمية ماورد سابقاً من حيث تأثيراتها على الجهد الخصوبي للتربة وانعكاس ذلك على حصيلة الانتاج الزراعي . وقد يتصور البعض أن الفهم الدقيق لعملية المعدنة يساعد على زيادة فهم المسارات المختلفة المرتبطة بتحلل المخلفات والأسمدة العضوية فقط بينما هناك جوانب متعددة ذات أثر كبير على سلوك النايتروجين المضاف بهيئة معدنية كالأسمدة المعدنية (الاسمدة الكيمياوية) . إذ تساهم هذه العملية في زيادة المعرفة الدقيقة في كيفية الاستفادة المثلى من الصور النايتروجينية الناتجة ومحاولة تجنب الصور الضارة المرافقة لهذه العملية . وحتى نبتعد عن الغموض الوارد ضمن الاستنتاجات السابقة سنحاول مناقشة نتائج التجربة التي توصل اليها (Court et al, 1962) عندما أضاف سماد اليوريا $(NH_2)_2CO$ الى تربة ذات $pH = 7.2$ فقد لاحظ انَّ ايون الإمونيوم قد تكوّن بعد فترة من إضافة هذا السماد ووصل تركيزه الى 300 مايكروغرام لكل غرام تربة . وأن pH التربة قد يرتفع ليصل الى 8.9 (سوف نتطرق لاحقاً الى كيفية تحلل سماد اليوريا وانتاج ايون الامونيوم) . وبالطبع فإنَّ ايون الامونيوم الناتج سوف يتأكسد في الظروف الهوائية . وبالفعل إنخفض تركيز ايون الامونيوم بعد اسبوع وتحول الى NO_2-N مع إنخفاض ملحوظ في pH التربة إذ وصل الى 6.2 ، وقد أخذ تركيز NO_2-N يزداد حتى وصل الى اقصاه بعد أربعة اسابيع . ثم أخذ بالإنخفاض التدريجي مكوناً

وأن $NO_3^- -N$ pH التربة حافظ عند قيمته (6.2) حتى الاسبوع الخامس والسادس من التجربة . والشكل (7) يلخص تلك النتائج .



شكل (7) إستجابة محصول الذرة الصفراء لسماد اليوريا المضاف لتربة مزيجية رملية (pH = 7.4) حسب ماأورده (Court et al, 1962) .

ومن الشكل السابق يتضح الضرر الذي يصيب الانتاج خلال عملية النترجة بسبب التركيز العالي من ايون $NO_2^- -N$ الذي ادى الى موت بعض النباتات . وعلى الرغم من ذلك فقد استخدم سماد اليوريا منذ سنوات في العراق بنجاح دون ظهور أي اعراض ضارة بل كانت الاستجابة لهذا السماد جيدة كما مبين في نتائج Fathalla, 1978, Al Ani, 1973, Ahamad, 1975 وغيرهم . وقد يعزا سبب ذلك الى خصائص الترب العراقية من خلال المحتوى العالي من الاملاح والقلوية alkalinity الذين يعملان على عرقلة عملية النترجة كما اشار الى ذلك (Elkholi, 1972) .

إنّ مشكلة التركيز العالي من $NO_2^- -N$ وعلاقة ذلك بالانتاج الزراعي قد قام بدراسته باحثون كثيرون فعلى سبيل المثال الدراسة المقارنة التي قام بها (Paul and Polle, 1965) عندما أضاف سماد نترات الامونيوم NH_4NO_3 وسماد كبريتات الامونيوم $(NH_4)_2SO_4$ الى نباتات الخس المزروعة في ترب كلسية . فقد

ظهر الاصفرار وانخفض الانتاج خلال الشهر الاول ثم بدأت حالة النمو تعود الى حالتها الطبيعية . وعند مقارنة هذه النتائج مع أضافة سماد نترات البوتاسيوم ، لم تظهر هذه الحالة وبدأ النمو واستمر بحالة جيدة . الأمر الذي دفع الكثير من الباحثين الى استخدام موانع Inhibitor لعملية النترجة تجنباً للسمية القاتلة للنبات النامي مثل 2-Chloro-6 (trichloromethyl) pyridine الذي يفضل اضافته مع الاسمدة النايتروجينية التي تحتوي على صورة ايون الامونيوم . إن التركيز السام لـ $NO_2^- -N$ يحصل عند حدود 0.25-0.1 مايكروغرام NO_2 لكل ملمتر . وقد وجد (Bingham **et al**, 1954) أنّ زيادة تركيز NO_2^- عن 0.5 مايكروغرام $NO_2^- -N$ لكل ملمتر عند pH مساو لـ (8) يؤدي الى خفض انتاج الطماطة معنوياً . ولابد من القول بأن هنالك حلولاً متعددة استخدمت اخيرا لهذه الظاهرة ليس لدينا هنا مجال لبيانها .

عملية عكس النترجة Denitrification

تقوم انواع من الاحياء الدقيقة بالتربة بأختزال النترات والنتريت الى صور غازية هي N_2 ، N_2O ، NO مما يدفعها الى الانطلاق الى الهواء الجوي ، وهذه العملية يطلق عليها بعملية عكس النترجة denitrification . ويعتبر Gayan and Dupetit عام 1886 أول من اشار الى هذه العملية التي يمكن أن تصفها المعادلة الآتية :

$$2HNO_3 \xrightarrow[-\,2H_2O]{+\,4H} 2HNO_2 \xrightarrow[-\,2H_2O]{+\,4H} H_2N_2O_2 \longrightarrow \begin{cases} \xrightarrow[-\,2H_2O]{+\,2H} N_2 \\ \xrightarrow[-\,H_2O]{} N_2O \end{cases}$$

nitrate → nitrite → hyponitrous acid ; $N_2O \xrightarrow[-\,H_2O]{+\,H} N_2$

ويمكن وصف مايجري بعملية عكس النترجة ايضاً بالآتي :

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

تكافؤ النايتروجين (+5) (+3) (+2) (+1) (0)

إن الاساس العام في هذه العملية كما يصفه (Focht, 1978) انه في الظروف اللاهوائية تقوم بعض احياء التربة الدقيقة باستعمال النترات في حالة غياب الاوكسجين في استقبال الهايدروجين . وقد وجد (Allison, 1966) أن كمية النايتروجين المفقودة بهذه العملية يتراوح بين 5-50٪ من كمية النايتروجين الكلية التي تضاف للترب . وقد اشارت نتائج (Kowalenko and Cameron, 1977) الذي أضاف السماد النايتروجيني N-15 labelled fertilizer الى محصول الشعير في تجربة حقلية أشارت الى أنّ معدل ما استرجع بواسطة النبات من السماد النايتروجيني يتراوح بين 54-69٪ والكمية الباقية (31-46٪) تمثل الفقد في عملية عكس النترجة . وقد تتم هذه العملية في الظروف الهوائية عند غياب التجانس بتوزيع الاوكسجين في مقد التربة .

ويستلزم لعملية عكس النترجة توفير المستلزمات الآتية :

(1) احياء تربة دقيقة ويمكن تحديد الاحياء الدقيقة الآتية باعتبارها المسؤولة عن هذه العملية وهي بصورة عامة من انواع Micrococcus, Pseudomonas، Bacillus, Achromobacter كما اوردها (Carter and Allison, 1961 ، Valera and Alexander, 1961) .

(2) وفرة مركبات واهبة للاليكترونات electron donors مثل المركبات العضوية الكاربونية organic carbon compounds ومركبات الكبريت المختزلة وجزيئات الهايدروجين molecular hydrogen .

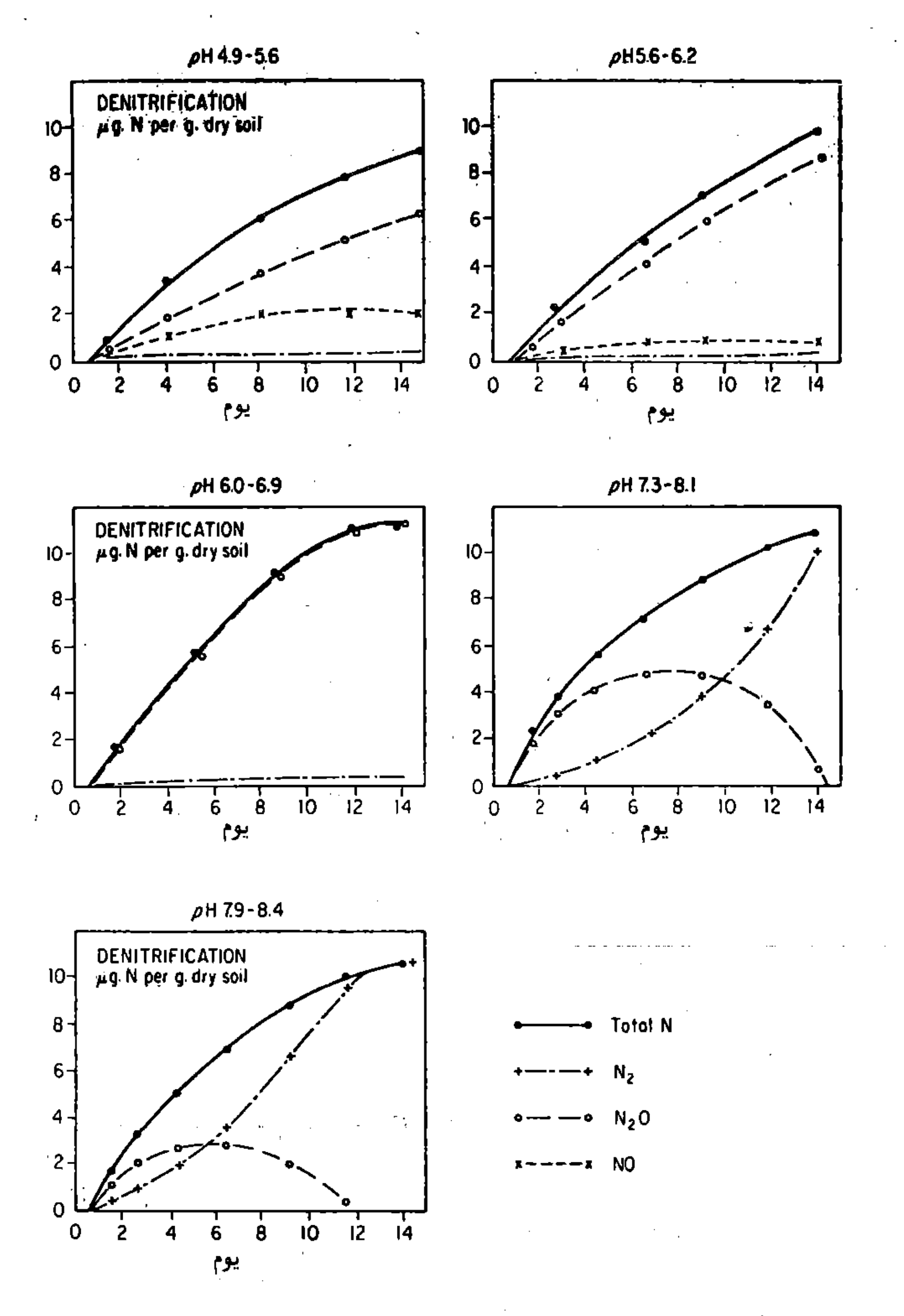
(3) توفر الظروف اللاهوائية anaerobic conditions .

(4) وفرة الصور النايتروجينية : N_2O, NO, NO_2, NO_3 .

ولابد لنا من ايجاز العوامل المؤثرة على عملية عكس النترجة وهي الآتي :

1- الرقم الهايدروجيني للتربة Soil pH

إن ارتفاع الرقم الهايدروجيني للتربة عن 5 يعجل من كمية النايتروجين المفقودة في عملية عكس النترجة . وقد درس (Wijler et al. 1954) تأثير قيم مختلفة من الـ pH لعينات ترابية مختلفة على عملية عكس النترجة للنايتروجين المضاف للبرسيم في ترب مزيجية طينية غرينية كما يشير الى ذلك الشكل (8) .

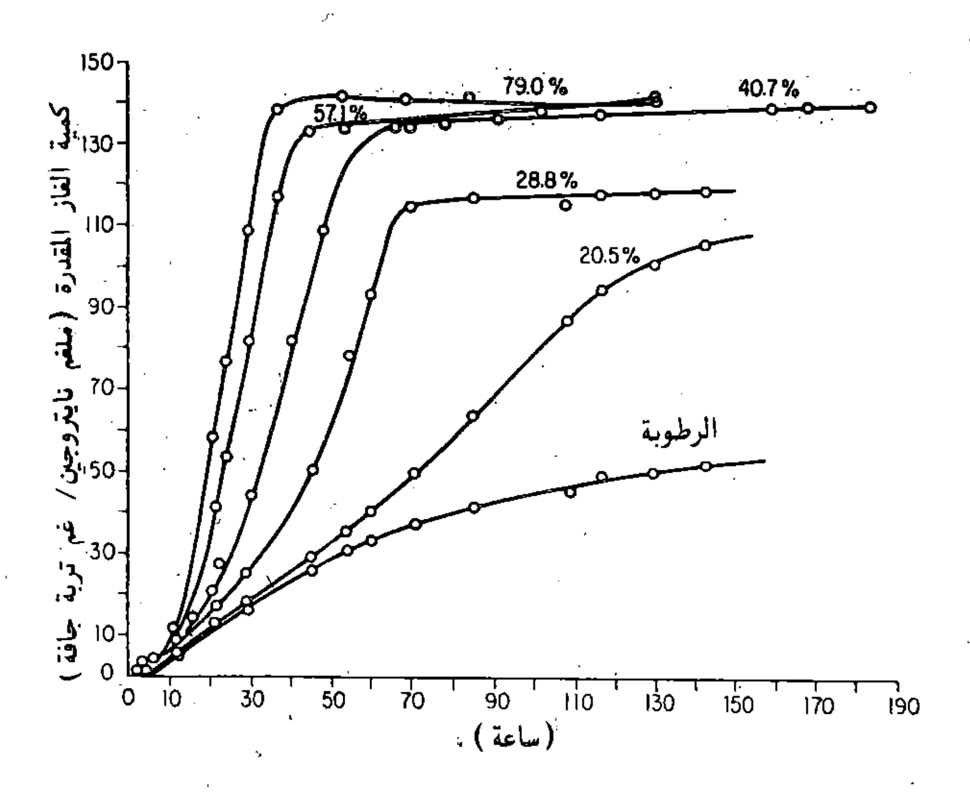


شكل (8) تأثير pH التربة على عملية عكس النترجة للنايتروجين المضاف الى تربة مزيجية طينية غرينية (Wijler at al, 1954) .

ومن خلال هذه الاشكال نجد أنه عند حدود pH من 4.9 الى 5.6 يكون معظم الفقد غالباً للنايتروجين المضاف بهيئة اوكسيد النايتروجين N_2O لكونه الناتج الرئيسي المتكون في مثل هذه الظروف . وعند حدود pH 7.3–7.9 يفقد النايتروجين بكمية كبيرة بهيئة N_2 وبكمية قليلة بهيئة N_2O إذ يمكن من خلال ذلك التأكيد على صحة الأستنتاج السابق الذكر بأن ارتفاع pH التربة يزيد كمية الفقد من خلال زيادة انتاج غاز النايتروجين (N_2) المتحرر . وقد أشار (Bremnr and Shaw 1958) الى أن اقصى فقد للنايتروجين بعملية عكس النترجة يكون عند حدود pH (8.0–8.6) .

2- المحتوى الرطوبي بالتربة

إن زيادة المحتوى الرطوبي بالتربة وصولاً الى الظروف اللاهوائية يؤدي الى زيادة كمية النايتروجين المفقودة بعملية عكس النترجة (الشكل 9) ، ولا يعني هذا وجود تأثير مباشر للماء بل أن السبب الرئيسي هو أنخفاض محتوى هواء التربة من الاوكسجين .



شكل (9) تأثير محتوى التربة الرطوبي على عملية عكس النترجة (Mc Garity, 1961) .

3- درجة الحرارة

إنَّ ارتفاع درجة الحرارة تساهم في تنشيط العمليات الحيوية وتزيد من استهلاك الاوكسجين من قبل احياء التربة الدقيقة ولذلك لابد لنا من أن نتوقع زيادة كمية النايتروجين المفقودة في عملية عكس النترجة. ولا يعني هذا وجود علاقة طردية بين كمية النايتروجين المفقودة ودرجة الحرارة وبشكل خطي متواصل. بل يمكن القولُ أن طبيعة العلاقة تتحدد من خلال معدل النشاط الحيوي وكمية النايتروجين المفقودة. والدليل على ذلك ما أورده (Kowalenko and Cameron, 1977) بأن معدل عملية النترجة يكون في اقصاه في الربيع وبداية الصيف وينخفض معنوياً خلال فصل الصيف بسبب الحرارة العالية جداً.

4- محتوى التربة من المادة العضوية

إنَّ زيادة محتوى التربة من المادة العضوية يساعد على زيادة النشاط الحيوي لأحياء التربة وزيادة تجمعاتها واستهلاكها للاوكسجين مما يؤدي ذلك الى زيادة كمية النايتروجين المفقودة بعملية عكس النترجة. فقد أشار (Russell, 1973) الى أن اضافة الاسمدة العضوية الى الترب تسرع عملية عكس النترجة وبالأخص في الظروف المعتدلة الحرارة. ووفقاً لنتائج تجربة المقارنة التي قام بها (Dilz and Woldendorp, 1960) فإن معدل عكس النترجة (جدول 4) يكون مرتفعاً في الترب العضوية مقارنة الترب الطينية التي تمتاز بشكل أو بآخر بكونها متوسطة التهوية. وقد أكد (Firestone, 1982) أنَّ زيادة محتوى التربة من الكاربون العضوي يؤدي الى زيادة عملية عكس النترجة.

جدول (4) يبين معدل عكس النترجة في ترب مختلفة الخصائص

نوع التربة	٪ كمية النايتروجين المفقودة من الكمية الكلية المضافة
تربة رملية	25-11
تربة طينية	31-16
تربة عضوية	40-19

5- تأثير المجموع الجذري

يمكن ايجاز تأثير المجموع الجذري على عملية عكس النترجة بالآتي :

(1) يجهز المجموع الجذري الوسط بالكاربون الذي يساهم في عملية إختزال NO_3^- من خلال تزويد العملية بالاليكترونات .

(2) يتنافس المجموع الجذري مع احياء التربة الدقيقة على الاوكسجين ، أي يساهم المجموع الجذري بخلق الظروف اللاهوائية بسبب تنفس الجذور .

(3) وبنفس الوقت يساهم المجموع الجذري ايضاً على انتشار الاوكسجين من خلال امتصاص الماء وخفض محتوى التربة الرطوبي .

(4) يمتص المجموع الجذري NO_3^- نتيجة لامتصاصه من قبل النبات .

ومن هنا يمكن القول بأن تأثير المجموع الجذري على عملية عكس النترجة قد يكون سالباً أو موجباً أو قد لا يكون هنالك تأثير .

ومن خلال ماورد سابقاً نجد أن الكمية الضائعة من النايتروجين المضاف ليس بسيطاً تحت ظروف بيئية مختلفة . وقد وجد بعض الباحثين امثال (Krikbye and Menyel 1979) أن اضافة مواد مانعة لعملية النترجة nitrification inhibitor لها تأثير قليل على عملية عكس النترجة . لذا لابد من التأكيد على الدور الكبير الذي تلعبه هذه العملية في دورة النايتروجين بالتربة والطبيعة .

تطاير الأمونيا Ammonia Volatilization

إجريت خلال السنوات الماضية العديد من الدراسات حول فقد الامونيا من الاسمدة النايتروجينية المضافة الى ترب مختلفة الخصائص . وقد إهتمت هذه الدراسات إيضاً بالعوامل المؤثرة على هذه العملية . وقد يطلق على عملية فقد غاز الامونيا من التربة بتطاير الامونيا Ammonia Volatilization . ولا يقتصر تطاير الامونيا من الاسمدة النايتروجينية المضافة فحسب وإنما تتطاير الامونيا من تحلل الأسمدة والمخلفات العضوية المضافة الى الترب . والجدول (5) يوضح فقد الامونيا بعد الإضافة السطحية لأسمدة نايتروجينية مختلفة .

جدول (5) فقد الامونيا من الاسمدة النايتروجينية المختلفة المحسوبة في الحقل

الاسمدة المضافة نوعية السماد	الكمية كغم نايتروجين / هكتار	التربة قوام	pH	كمية النايتروجين المفقودة بهيئة NH_3^+	المصدر
يوريا	50	مزيجية رملية	7.7	22	Nommik, 1966
نترات الامونيوم	50			17	
يوريا	150	مزيجية غرينية	6.3	19	Véntura and
كبريتات الامونيوم	100	مزيجية طينية	7.1	3	Yoshida, 1977
يوريا	100	طينية	7.0	8	Mikkelsen
كبريتات الامونيوم	90			7	et al. 1978
يوريا	90			6	
كبريتات الامونيوم	150	مزيجية غرينية	6.3	4	Kresge and Satchel, 1960

لقد اشار (Fenn and Kissel, 1973) الى أن إضافة الاسمدة النايتروجينية الى الترب الكلسية يرافقها تكوين المركب كاربونات الامونيوم $(NH_4)_2CO_3$ وفقاً للتفاعل الآتي :

$$X(NH_4)_2Y + NCaCO_3(s) \rightleftharpoons N(NH_4)_2CO_3 + CanYx$$

إذ أن Y يمثل الأيون السالب المرتبط مع كاتيون الامونيوم (NH_4^+) ، N ، X لموازنة المعادلة وان n, x قيم يحددها تكافؤ الايون الموجب والسالب . ويتحلل مركب كاربونات الامونيوم وفقاً للآتي الى :

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons 2NH_3\uparrow + H_2O + CO_2\uparrow$$
$$2NH_3 \rightleftharpoons 2NH_4OH$$

وعندما يكون **Can Y_x** غير ذائب فأن التفاعل يؤدي الى تكوين المزيد من مركب كاربونات الامونيوم وبالتالي مركب هايدروكسيد الامونيوم . واذا كان هذا المركب ذائباً فإن الكمية المتكونة في مركب كاربونات الامونيوم تكون قليلة . وقد أكد الباحثون ، أنَّ الأسمدة التي تكون نواتج غير ذائبة مثل (HPO_4^{2-} و

SO_4^{2-} و F^-) Ca تفقد كمية كبيرة من الأمونيا . بينما الأسمدة التي تكون نواتج ذائبة مع الكالسيوم مثل (NO_3^-, Cl^-, I^-) Ca تفقد كمية قليلة من الامونيا .

ولأبد من الاشارة هنا الى الانتقاد الذي قدم من الباحثين (& Feagley (Hossner, 1978 لنظرية (Fenn and Kissel) الخاصة بشرح ميكانيكية تطاير الامونيا من الاسمدة النايتروجينية فقد اكد أنَّ تكوين المركب $(NH_4)_2CO_3$ في التربة يحتاج الى ظروف pH مرتفعة. وبهذا لا يمكن الاعتقاد بأن الناتج الوسطي intermediate المتكون في ظروف الترب الكلسية . وقد إقترحا تكوّين المركب بيكاربونات الامونيوم (NH_4HCO_3) كمركب وسطي ، كما توضح ذلك تفاعلات سماد كبريتات الامونيوم المضافة الى سطح ترب كلسية :

$$2\,CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4 \rightleftharpoons Ca^{2+} + CaSO_4 + 2NH_4HCO_3$$

$$2NH_4HCO_3 \rightleftharpoons 2NH_3 + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

وقد يتحد أيون الكالسيوم وايون الهايدروكسيد (OH^-) الناتج من التحلل المائي لكاربونات الكالسيوم مع مزيد من السماد المضاف (سماد كبريتات الامونيوم - $(NH_4)_2SO_4$ كالاتي :

$$Ca^{2+} + 2OH^- + (NH_4)_2SO_4 \rightleftharpoons CaSO_4 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

ومن خلال جمع التفاعلات السابقة يمكن الحصول على المعادلة الرئيسية التالية

$$CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4 \rightleftharpoons 2NH_3 + CO_2 + H_2O + CaSO_4$$

ومن هنا يمكن القول ان النتيجة النهائية التي اوردها (Feagley & Hossner) هي نفس النتيجة النهائية التي اوردها (Fenn & Kissel) .
ويمكن الاستنتاج مما ورد سابقاً أن سلوكية مركبات الامونيوم المضافة لأي تربة تختلف بقدرتها على إنتاج الامونيا .

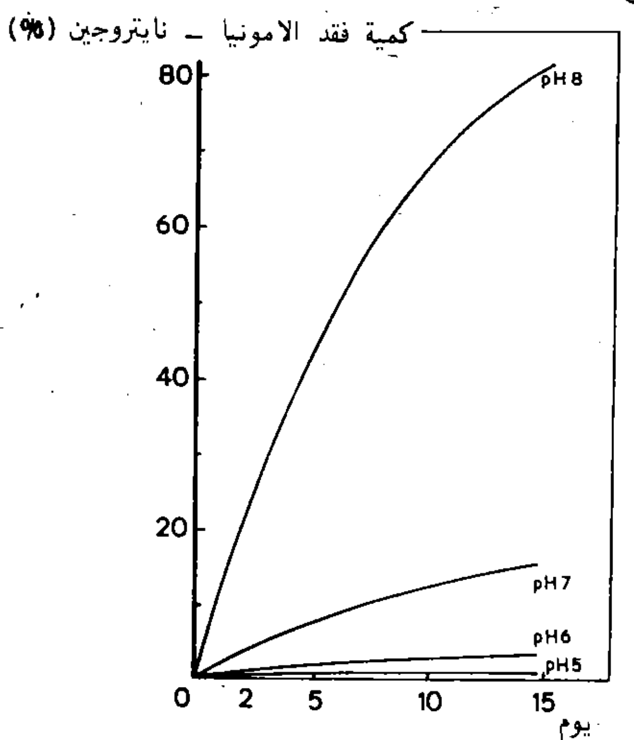
العوامل التي تؤثر على تطاير الأمونيا :

1- pH الوسط

لقد أشارت عدة دراسات الى إن كمية الامونيا المتطايرة من اسمدة الامونيوم واليوريا المضافة للتربة تزداد مع إرتفاع pH التربة (Martin & Chapman, 1951 Loftis & Scarsbrook, 1969, Chao & Kroontje, 1964, Ernst & Massey, 1960 Watkins et al 1972) . فقد اشار ،على سبيل المثال (Chao & Kroontje 1964) الى ان كمية الامونيا المتطايرة قد إزدادت بنسبة 40% عند رفع pH التربة من 7.4 الى 7.8 . كما اشار (Mills et al., 1974) الى أن كمية الامونيا المتطايرة كانت 17% عندما كان pH الوسط 7.2 وقد ارتفعت الى 63% بعد رفع الـ pH الى 8.0-8.5 خلال فترة سبعة ايام . ويمكن وصف طبيعة تأثير pH التربة على سلوك ايون الامونيوم المتكون او المضاف من خلال المعادلة الآتية :

$$NH_4^+ + OH^- \rightleftharpoons NH_4OH \rightleftharpoons NH_3 + H_2O$$

إذ إن زيادة تركيز إيون OH^- في الوسط يدفع طبيعة تفاعل المعادلة السابقة نحو اليمين . وبذلك تتعرقل مسيرة تكوين مزيد من غاز الامونيا عند خفض pH الوسط . وهنالك الكثير من الدراسات التي اشارت الى إن إضافة اللايم مثلاً للترب الحامضية يؤدي الى زيادة فقد الامونيا من الاسمدة النايتروجينية المضافة . والشكل يوضح طبيعة العلاقة بين pH التربة وكمية الامونيا المتطايرة .



2- درجة الحرارة

يختلف تأثير درجة الحرارة على كمية الامونيا المتطايرة وفقاً لأختلاف الاسمدة النايتروجينية المضافة وكذلك خواص التربة . فلقد وجد (Fenn & Kissel 1974) أن ارتفاع درجة الحرارة من 12 الى 32°م قد ادى الى زيادة في كمية الامونيا المتطايرة من الاسمدة النايتروجينية المضافة بشكل عام . كما اشار Vlek & Stumpe 1978 الى ان ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى زيادة سرعة إنتشار غاز الامونيا من التربة يساهم في زيادة معدل الفقد . ووجد Wahhab et al (1956)الى انَّ إرتفاع درجة الحرارة من 30°م الى 45°م ادت الى زيادة كمية الامونيا المتطايرة من سماد كبريتات الامونيوم بمقدار 18٪ كما أشار (Das & Khan, 1967) الى إن سرعة تطاير الامونيا من اليوريا تزداد بإرتفاع درجة الحرارة وقد عزا سبب ذلك الى سرعة تحلل اليوريا .

3- السعة التبادلية الكاتيونية ونوعية الكاتيون المتبادل

لقد إعتبر (Gasser, 1964) السعة التبادلية الكاتيونية عاملاً هاماً يحدد كمية الامونيا المتطايرة من الاسمدة النايتروجينية المضافة إذ وجد أن كمية الامونيا المتطايرة قد تناقصت من 20% عند سعة تبادلية كاتيونية 10% ملي مكافيء / 100 غرام الى 10% عند سعة تبادلية كاتيونية 20 ملي مكافيء / 100 غرام . إن ارتفاع السعة التبادلية الكاتيونية للتربة يعني إنجذاب كمية كبيرة من ايون الامونيوم الى سطح الغرويات وبذلك تقل كمية الامونيا المتطايرة من خلال إنخفاض كمية الامونيا بمحلول التربة [ذائبة NH_3 (aq)] .

$$\underset{(\text{متبادل})}{NH_4^+} \rightleftharpoons \underset{(\text{ذائبة})}{NH_4^+} \rightleftharpoons \underset{(\text{ذائبة})}{NH_3}$$

ويمكن القول إن العكس صحيح . كما يمكن الوصول الى استنتاج مما يتعلق بعلاقة قوام التربة بكمية الامونيا المتطايرة وكذلك نوعية معدن الطين السائد .

أما من ناحية تأثير نوعية الكاتيون المتبادل على تطاير الامونيا فقد وجد (Martin & Chapman, 1951) أنَّ كمية الامونيا المتطايرة تكون عالية في ترب مشبعة بالبوتاسيوم والصوديوم بالمقارنة مع ترب مشبعة بالكالسيوم والمغنيسيوم وقد يرجع سبب ذلك الى ارتفاع قيمة pH التربة عند التشبيع بالصوديوم والبوتاسيوم . كما وجد أن كمية الامونيا المتطايرة عند التشبيع بالمغنيسيوم تكون

اعلى من التشبع بالكالسيوم . أما (du Plessis & Kroontje, 1964) فقد وجد عكس هذه النتيجة ، ولكن ارتفاع ضغط ثاني اوكسيد الكاربون بالوسط سوف يعكس التأثير إذ تساهم المستويات المرتفعة من ثاني اوكسيد الكاربون الى ترسيب الكالسيوم بهيئة كاربونات ولهذا فإن التربة المشبعة بالمغنيسيوم تفقد كمية عالية من الامونيا بسبب ارتفاع pH الوسط .

4- تأثير الاملاح .

إن وجود الاملاح في التربة يؤثر على عملية التطاير من خلال التأثير المباشر على pH التربة . وسنحاول التركيز اولاً في مناقشتنا هذه على تأثير كل من كاربونات الكالسيوم والجبس على تطاير الامونيا ثم ننتقل الى تأثير الاملاح الذائبة على ذلك .

لقد اشار (Ryan et al 1981) الى وجود ارتباط معنوي موجب بين محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم وفقد الامونيا ، كما بين (Fenn & Kissel, 1974) أنَّ نسبة كاربونات الكالسيوم في التربة تؤدي الى تقليل وقت التفاعل وبذلك تزداد كمية الامونيا المتطايرة . فقد اكد Steenbjerg أنَّ كمية الامونيا المتطايرة في تربة تحتوي على 1-2% كاربونات كالسيوم كانت 25% بينما هي في تربة تحتوي على 5-10% كاربونات كالسيوم قد زادت لتصل كمية الامونيا المتطايرة الى 50% .

ويمكن لنا أن نضيف في هذا المجال لما أورده معظم الباحثين أنَّ تأثير كاربونات الكالسيوم على المركبات السمادية هو أما من خلال التفاعل المباشر كما سبق أن اوضحناه وأما بسبب نواتج التحلل المائي hydrolysis لكاربونات الكالسيوم التي تؤدي الى رفع قيمة pH التربة

$$CaCO_3 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^-$$

فقد اشار (Ernst & Massey, 1960) الى إن إضافة $CaCO_3$ الى التربة الحامضية سيؤدي الى رفع الـ pH ويصبح التطاير اكثر حدوثاً ، ويمكن ايجاز ماتوصلوا اليه بالجدول التالي

pH	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
النسبة المئوية لفقد النايتروجين	8.0	12	18	28	40	55

ويمكن الاشارة هنا الى ان تأثير محتوى التربة في كاربونات الكالسيوم على سماد اليوريا المضاف الى التربة يكون تأثيراً غير مباشر بسبب رفع pH الوسط الذي يسهم في سرعة تحلل مركب بيكاربونات الامونيوم المتكون . ويمكن ايضاً ايجاز تأثير وجود كبريتات الكالسيوم على تطاير الامونيا بإن هذا الملح يتفاعل مع المركب الناتج (بيكاربونات الامونيوم او كاربونات الامونيوم) من تفاعل السماد وكاربونات الكالسيوم مما يؤدي الى إعادة ترسيب كاربونات الكالسيوم وبالتالي تقل الإمونيا المتطايرة :

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO \qquad (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 \uparrow$$

إن وجود الاملاح الذائبة في التربة تساعد على زيادة كمية الامونيا المتطايرة ، ويعود سبب ذلك الى أنَّ الاملاح تزيد من ذوبان كاربونات الكالسيوم بسبب تكسيرها له وجعل الكمية غير النشطة منه بحالة نشطة وفعالة . لقد اشار (Gandhi and Paliwal, 1976) الى أن كمية الامونيا المتطايرة من الأسمدة النايتروجينية تزداد مع زيادة التوصيل الكهربائي للتربة إذ اوضحت نتائجها بأن الفقد خلال الاسبوع الاول من التجزبة كان بالنسب (11.1 ، 13.5 ، 20 ، 33.5%) عند درجات التوصيل الكهربائي 5 ، 10 ، 20 ، 40 ملي موز / سم على التوالي .

5- مستوى السماد والمضاف وطريقته

إن زيادة كمية اليوريا واسمدة الامونيوم المضاف يؤدي الى زيادة كمية الامونيا المتطايرة ولكن النسبة المئوية للامونيا المتطايرة من الكمية الكلية للنايتروجين المضاف تبقى ثابتة (Martin & Chapman, 1951 ، Hargrove et al, 1977 ، Vlek & Stumpe, 1978) . وقد لاحظ باحثون آخرون أنَّ نسبة الامونيا المتطايرة تزداد مع زيادة كمية الامونيوم المضافة (Overrein & Moe, 1967) . وفي تجارب مختبرية على ترب كلسية لاحظ (Fenn & Kissel, 1974) أنَّ كمية الامونيا المتطايرة من سماد كبريتات الامونيوم المضاف الى ترب كلسية قد إزدادت من 19 الى 50% مع زيادة مستوى السماد من 33 الى 550 كغم NH_4-N / هكتار ولكن لا تحصل هذه الحالة مع سماد نترات الامونيوم وقد عزا سبب ذلك الى تكوين الراسب مع الكالسيوم أو عدم تكوينه إذ أنَّ نترات الامونيوم يكون نترات الكالسيوم الذائبة . وقد بين (Simpson & Milsled, 1963) أنَّ فقد الامونيا لا يتأثر بمستوى اليوريا

المضافة الى التربة ولكن أكد (Volk, 1959) أنّ فقد الامونيا يتناسب طرديا مع كمية اليوريا المضافة .

تشير النتائج التي توصل اليها باحثون كثيرون الى أنّ خلط كبريتات الامونيوم مع التربة او إضافته تحت سطح التربة يؤدي الى التقليل من فقد الامونيا (Fenn & Escarzago, 1976) . وعندما درس (Fenn & Kissel, 1976) تأثير زيادة عمق إضافة كبريتات الامونيوم على فقد الامونيا آخذين بنظر الاعتبار السعة التبادلية الكايتونية للتربة ورطوبتها . وجد أنه في حالة كون غطاء التربة رطباً إنخفض الفقد من التربة الطينية (السعة التبادلية 59 ملي مكافيء / 100 غرام) من 45% في الاضافات السطحية الى 2% عند الاضافة على عمق 5 سم وقد تلاشت كمية الامونيا المفقودة عند إضافة كبريتات الامونيوم على عمق 7.5 سم . أما في التربة الطينية الغرينية (السعة التبادلية الكاتيونية 22 ملي مكافيء / 100 غرام) فقد إنخفض الفقد من 75% في الاضافات السطحية الى 60% عند اضافتها على عمق 7.5 سم اما عندما كان غطاء التربة جافاً فإن كمية الفقد قلّت اكثر من هذه النسب . وقد عللا سبب ذلك على أساس إن حركة الماء الشعري الى سطح التربة هي العامل الرئيسي لفقد الامونيا عند إضافة مركبات الامونيوم تحت سطح التربة . فبدون حركة الماء الشعري فإن كميات كبيرة من الامونيا لا يمكن وصولها الى سطح التربة .

6- محتوى التربة الرطوبي

اشار العديد من الباحثين الى إن تطاير الامونيا من التربة المعاملة بكبريتات الامونيوم يعتمد على المحتوى الرطوبي للتربة (Chao & Kroontje, 1964 ، Wahhab et al 1965 ، Fenn & Escarzago 1976) . ففي تجارب مختبرية اجراها (Fenn & Kissel, 1976) وجد أنَّ تطاير الامونيا من كبريتات الامونيوم كانت اكثر عندما كانت نسبة الرطوبة 55% مقارنة بالنسبة لمحتوى الرطوبي 30% . وقد استنتجا أنَّ تطاير الامونيا يعتمد على تواجد كمية كافية من الماء لإذابة املاح الامونيوم . أما (Meyer et al 1961) فقد اشار الى إن الإضافات السطحية لمركبات الامونيوم الى التربة الجافة سوف تبقى طيلة فترة بقاء التربة جافة دون تحلل . وقد اكدوا ضرورة خلط مركبات الامونيوم مع التربة في حالة إضافتها الى التربة الرطبة .

ولم تقتصر الدراسات حول العوامل المؤثرة على تطاير الامونيا بما سبق إن اوضحناه . بل اشار الكثير من الباحثين الى عوامل اخرى منها ما يتعلق بمحتوى

المادة العضوية المضافة ونوعيتها وكذلك ظروف التهوية ووقت إضافة السماد من موعد الزراعة وغيرها والتي لا نتطرق اليها في هذا الفصل.

محتوى التربة من النايتروجين والعوامل المؤثرة عليه

تختلف الترب في محتواها النايتروجيني بسبب إرتباط هذه الكمية بعوامل عديدة يتعلق البعض منها بالظروف البيئية المحيطة وكذلك طبيعة النباتات المنزرعة وخصائص التربة الفيزياوية والكيمياوية. ويلخص (Jenny, 1941) العوامل المحددة لمحتوى التربة من النايتروجين (N) بالظروف المناخية (Cl) وطبوغرافية التربة (T)، الغطاء النباتي (V)، مادة الاصل (P) وعامل الوقت (t).. أي أن هذه العوامل وغيرها تمثل الدالة لمحتوى التربة من النايتروجين

$$N = f\ (Cl,\ T,\ V,\ P,\ t\ ......\ etc)$$

ولايمكن النظر لهذه العوامل على انها عوامل مستقلة غير متداخلة بل إن محصلة التداخل لهذه العوامل تحدد بدقة محتوى التربة من النايتروجين. ولقد حاول كثير من الباحثين دراسة اهمية هذه العوامل وكانت الرغبة في ترتيب هذه العوامل بالتتابع وفقاً لأهميتها. وعلى سبيل المثال كانت نتائج (Jenny, 1930) تشير الى اهمية العوامل المحددة لمحتوى النايتروجين في تربة مزيجية loamy soil على النحو التالي: الظروف المناخية > الغطاء النباتي > الطبوغرافية = مادة الاصل $\geq$ عامل الوقت.

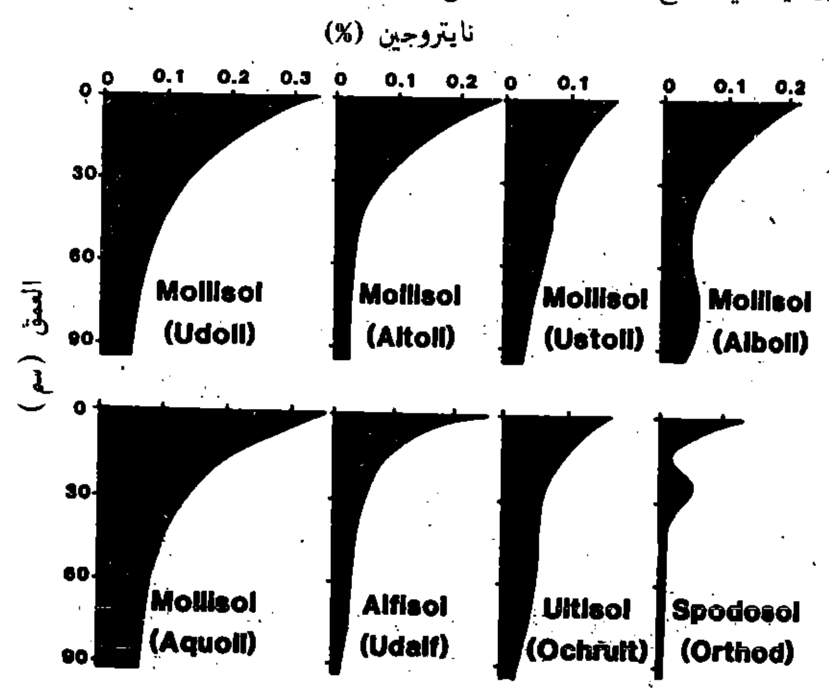
إن اغلب مصادر النايتروجين بالتربة عبارة عن مركبات عضوية، أما الصور اللاعضوية فإن كمياتها قليلة جداً ولو إنها من اهم الصور التي يستطيع النبات الاستفادة منها. لقد أشار (Black, 1968) الى أنَّ محتوى المنطقة الجذرية من النايتروجين يتراوح بين 0.02 الى 0.4%. ويمكن ايجاز العوامل التي تحدد محتوى التربة من النايتروجين الكلي كالآتي:

١ - محتوى التربة من المادة العضوية وكمية الغطاء النباتي

يختلف محتوى الترب من المادة العضوية وفقا لكثافة الغطاء النباتي وما يتراكم من مخلفات نباتية أو حيوانية واحياء مجهرية. ووجود المادة العضوية وعمليات تحللها تعتبر خطوة مهمة لما تساهم به من تحسين لصفات التربة الفيزياوية والكيمياوية الا إنه ايضاً يعتبر مصدراً اساسياً للنايتروجين ولجزء كبير من الفسفور

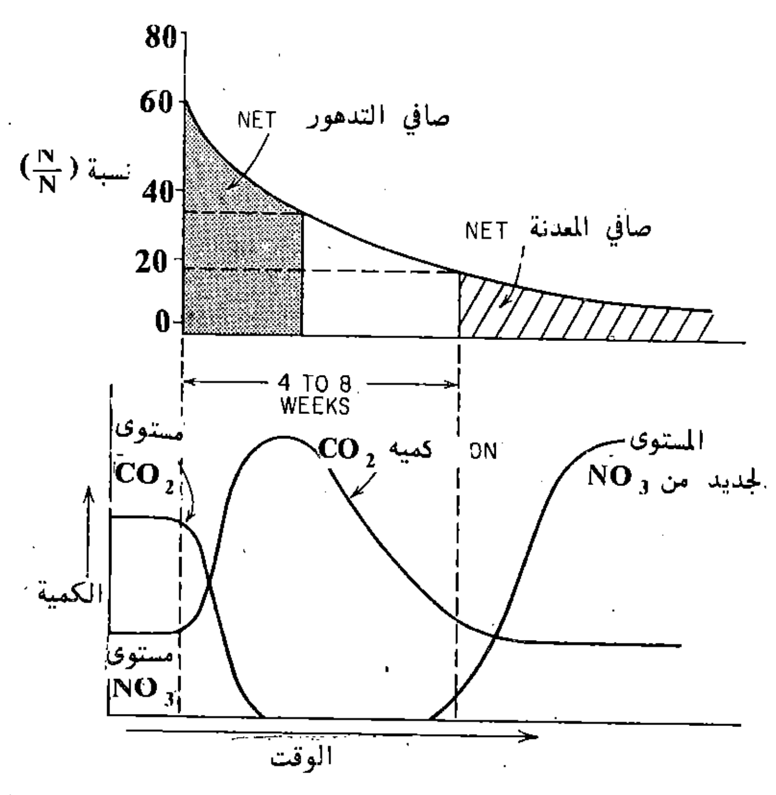
والبوتاسيوم وعناصر غذائية أخرى . إن محتوى المادة العضوية في أي تربة تكون في حالة توازن مع الظروف البيئية أو ظروف التربة المحيطة بها أي بين معدلات إضافة المادة العضوية من المصادر المختلفة النباتية والحيوانية وبين معدلات التحلل بواسطة الاحياء الدقيقة microosganisms . إذ تقوم احياء التربة الدقيقة بتحليل المادة العضوية وأكسدتها مساهمة في إنطلاق النايتروجين كما إن نشاط هذه الاحياء وفعاليتها يعتمد على عدة عوامل وهي الظروف البيئية وصفات التربة .

إن معدلات إضافة المادة العضوية في مناطق الغابات والمناطق المزروعة بالشجيرات Shrubs تكون اعلى من المناطق الجافة وشبه الجافة ذات الغطاء النباتي الذي يتميز بشجيرات متفرقة ونموات فصلية للحشائش كما اكد ذلك (Mohr, 1973) ويحدد المناخ انواع النباتات السائدة وكمية الغطاء النباتي الناتج والفعالية الميكروبية لذلك يعتبر العامل الرئيسي في تحديد مستوى المادة العضوية بالتربة لذا يختلف محتوى الترب من النايتروجين وفقاً للظروف البيئية السائدة . إنَّ محتوى التربة من النايتروجين يرتبط غالباً مع محتواها من المادة العضوية ، ولهذا نجد أنَّ الانخفاض الطبيعي للمادة العضوية مع العمق يعني انخفاض محتواها من النايتروجين كلما اتجهنا الى العمق . والشكل (10) يوضح العلاقة في توزيع النايتروجين في نماذج ترابية مختلفة مع العمق .



شكل (10) توزيع النايتروجين في آفاق نماذج ترابية مختلفة [إستل من Stevenson, 1982]

تلعب نسبة الكاربون الى النايتروجين ($\frac{C}{N}$ ratio) دوراً هاماً في عملية تفسخ المادة العضوية ومعدل انطلاق النايتروجين . إذ إن إنخفاض قيمة هذه النسبة في محتوى التربة من المادة العضوية يعني إرتفاع معدل تحلل النايتروجين العضوي وتحرر مزيد من النايتروجين المعدني ، ويمكن القول إنَّ إرتفاع قيمة هذه النسبة يعني العكس إذ تقوم الكائنات الدقيقة التي تقوم بعملية تفسخ المادة العضوية باستخدام معظم النايتروجين العضوي في بناء انسجتها مما يؤدي الى عدم وجود إنتاج فائض بالتربة . والشكل (11) يبين العلاقة بين نسبة $\frac{C}{N}$ وحالة التدهور أو المعدنة .



الشكل (11) العلاقة بين معدل معدنه النايتروجين ونسبة C/ N للمادة العضوية (استل من Tisdale & Nelson 1975)

(2) الظروف المناخية

تعتمد عملية تحلل المادة العضوية على نشاط أحياء التربة ، لذا فإن كمية النايتروجين المنطلقة سوف تتأثر بجميع العوامل التي تحدد نشاط الاحياء الدقيقة . فقد وجد (Jenny 1930) أنَّ تأثير درجة الحرارة يتبع قواعد Vant Hoffs اي

يزداد محتوى التربة من النايتروجين من 2-3 مرات لكل انخفاض 10°م في معدل الحرارة السنوي . إن العلاقة الآتية تعبر عن تاثير معدل الحرارة السنوي على محتوى النايتروجين الكلي للتربة .

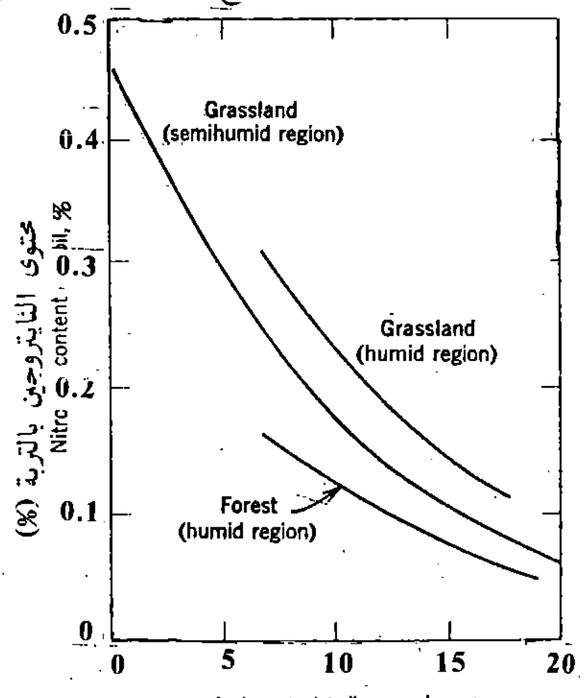
$$N = a /(1 + \mathbf{Cexp}^{-Kt})$$

إذ أنَّ N هي محتوى النايتروجين الكلي بالتربة و t هي معدل الحرارة المئوية السنوي و C و exp هي اساس اللوغارتم الطبيعي و a ، C ، K ثوابت .

كما وجد (Jenny, 1930) ايضاً انه قد تبقى العوامل الاخرى متساوية ولكن محتوى التربة من النايتروجين يزداد مع إضافة الماء وعبر عن التأثيرات المشتركة للحرارة وتجهيز الماء من خلال المعادلة الآتية :

$$N = 0.55e^{-0.08T} (1-e^{-0.005H})$$

وهنا N و t كما وردت في المعادلة السابقة ، T = متوسط درجة الحرارة (مْ) ، H = عامل الرطوبة وهي عبارة عن النسبة بين متوسط الساقط بالمليمتر (millimeters) الى كمية بخار الماء المشبعة للهواء بوحدة مليمتر زئبق (millimeter mercury) . كما إن المعادلة توضح أنَّ محتوى التربة من النايتروجين يقل مع زيادة درجة الحرارة السنوية وقد يصل الى حدود الصفر . وعند اي درجة حرارة فإنَّ محتوى النايتروجين يزداد مع زيادة الرطوبة ويصل الى حدود ثابتة عند ارتفاع درجة الحرارة . والشكل (12) يشرح طبيعة العلاقة بين معدل درجة



شكل (12) العلاقه بين محتوى التربة من النايتروجين ومعدل درجة الحرارة تحت ظروف بيئية وغطاء نباتي مختلفة (Jenny, 1930) .

3- تأثير الطبوغرافية Topography effect

تؤثر الطبوغرافية على محتوى نايتروجين التربة من خلال تأثيرها على المناخ والتعرية السطحية والغطاء النباتي وكذلك النشاط الميكروبي. إن التعرية السحطحية الناتجة من كثرة الامطار او الرياح تؤدي الى إزالة الطبقة السطحية والى انخفاض محتوى التربة من النايتروجين. لذا فإن محتوى الترب من النايتروجين يكون مرتفعاً بعد موسم الجفاف. وقد تتجمع المادة العضوية وتتعرقل عملية إنطلاق النايتروجين المعدني تحت ظروف رداءة البزل وتجمع المياه في المنخفضات بسبب عرقلة نشاط احياء التربة المحللة للمادة العضوية لسوء التهوية وبالاخص بالمناطق الرطبة بالمقارنة مع ترب المناطق شبه الجافة. إن تحسين ظروف الصرف يعرقل عملية التراكم المستمر على سطح التربة للمادة العضوية ويؤدي الى زيادة الفعالية الميكروبية.

4- مادة الاصل Parent Material

يمكن دراسة تأثير مادة الاصل على محتوى التربة من النايتروجين من خلال دراسة قوام التربة والتركيب المعدني للتربة. ويلعب التركيب المعدني للتربة دوراً هاماً في التأثير على بيئة النبات ونموه وعلى احياء التربة من خلال التأثير على التهوية وحركة الماء وقابلية التربة على الاحتفاظ بالماء. ومايترتب على ذلك من تأثير على خصوبة التربة. بالاضافة الى تأثير حالة التوازن والتداخل بين طبيعة جزئيْ الطور الصلب ـ الجزء المعدني والجزء العضوي، إنَّ تأثير حجم دقائق مكونات التربة (قوامْ التربة) على محتوى التربة من المادة العضوية ماهو الا انعكاس لتأثير خصائص هذه المكونات على محتوى التربة من المادة العضوية، فمن البديهي القول إن الترب ذات القوام الثقيل تحتوي على محتوى مرتفع من المادة العضوية بالمقارنة مع الترب ذات القوام الخشن مما ينعكس ذلك على محتوى هذه الترب من النايتروجين (جدول 6). ويرجع سبب احتواء الترب الثقيلة على كمية عالية من النايتروجين لقدرة المعادن التي تحتويها هذه الترب على امتصاص الجزيئات العضوية Organic molecules لذا لابد من القول بإن لنوع معدن الطين تأثيراً كبيراً في تحديد طبيعة الامتصاص فمثلاً تمتلك معادن المونتموريلونايت Montmorillonite سعة إمتصاصية عالية للجزيئات العضوية مما يبعدها عن نشاط احياء التربة وبذلك تتكدس.

جدول (6) متوسط محتوى النايتروجين بالترب مع إختلاف قوام التربة استل من (Black, 1968) .

قوام التربة	محتوى التربة من النايتروجين (%)
رملية	0.027
رمل ناعم	0.042
مزيجية رملية	0.100
مزيجية	0.188
مزيجية غرينية	0.230

صور النايتروجين في التربة Nitrogen forms in Soil

يمكن تقسيم صور النايتروجين في التربة الى :

(1) صور عضوية Organic forms

(2) صور معدنية (لاعضوية) Inorganic forms

وتشكل الصور العضوية نسبة عالية جداً (اكثر من 90%) من محتوى التربة من النايتروجين بالمقارنة مع الصور المعدنية . وفيما يلي إيضاح لانواع الصور المختلفة الشائعة في التربة .

1- الصور العضوية

يوجد النايتروجين العضوي على هيئة مركبات عضوية متعددة أهمها الاحماض الامينية amino acids والبروتينات proteins والسكريات الامينية amino sugers والاحماض النووية nucleic acids ((تشكل الاحماض الامينية حوالي 20-40% من النايتروجين الكلي والسكريات الامينية 5-10% حسب ماورد Parsons and Tinsley, 1979 و Stevenson, 1980)) والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية ذات التركيب غير المتجانس . وكما اوضحنا سابقاً بأن هذه الصور لم يستطيع النبات الاستفادة منها الا بعد أن تتحلل بواسطة احياء التربة الى صور معدنية معينة .

2- الصور المعدنية

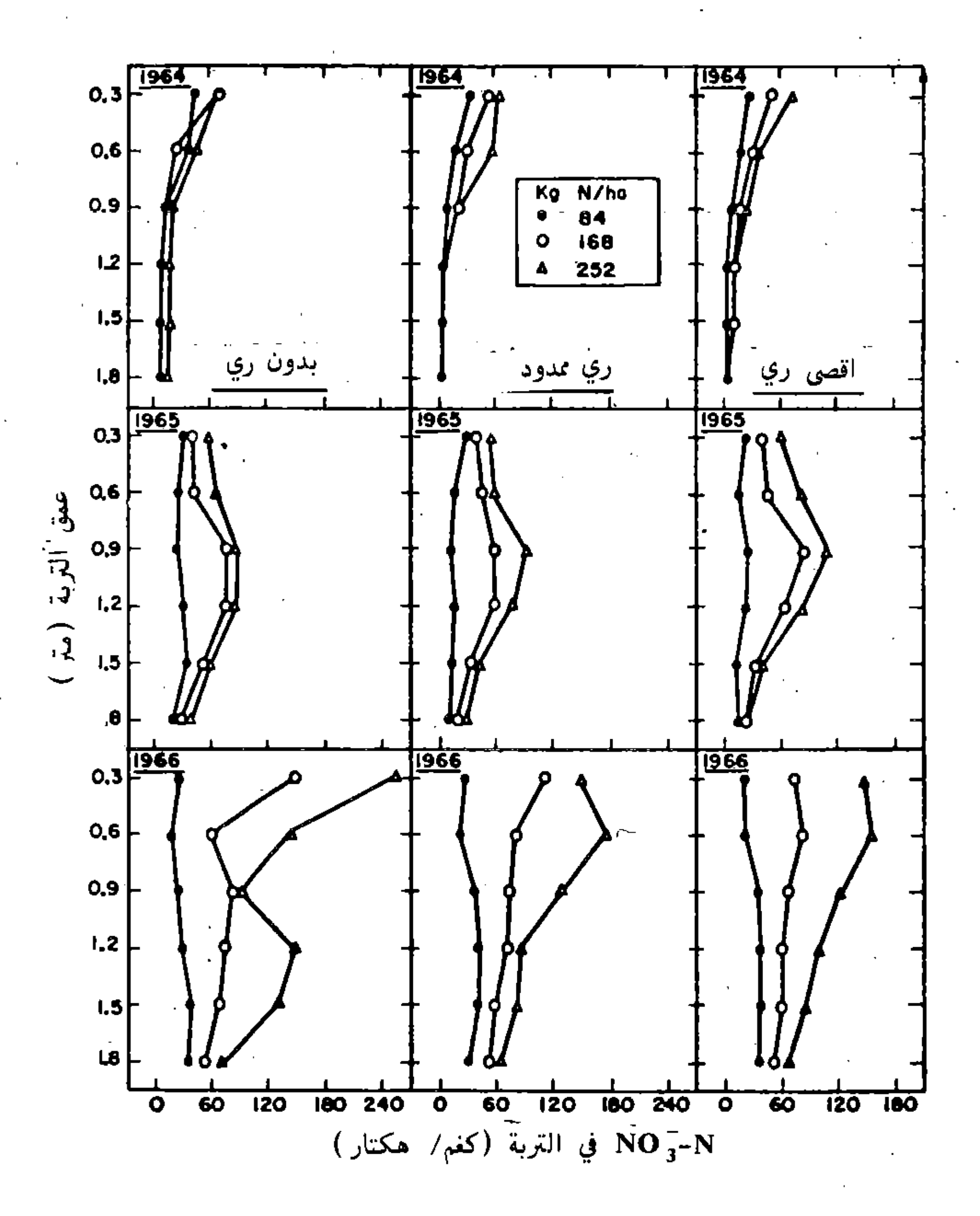
الصور المعدنية التالية : اوكسيد النتريك (NO) ، اوكسيد النتروز (N_2O) النتريت (NO_3^-) ، النترات (NO_3^-) ، الامونيوم (NH_4^+) ، هايدروكسيد الامين (NH_2OH) وصور اخرى تمثل الصور المعدنية السائدة بالتربة . وتعتبر صورة هايدروكسيد الامين hydroxylamine الصورة الوسطية التي تتكون خلال عملية النترجة كما اشار لذلك بعض الباحثين . أما الصور NO_3^- ، NH_4^+ ، NO_2^- فهي مهمة من ناحية خصوبة التربة وتغذية النبات . وجميع هذه الصور تنتج إما من عملية التحلل للمادة العضوية في الظروف الهوائية أو قد تضاف الى التربة بهيئة اسمدة كيمياوية معدنية او عضوية . والصور الغازية [N_2O, NO] تتكون في الظروف اللاهوائية في عملية عكس النترجة ، كما إن احتمال فقد هذه الصور الغازية الى الهواء الجوي كبير جداً واستفادة النبات منها معدومة .

ويمكن النظر بأهمية بالغة الى أيون الامونيوم (NH_4^+) وايون النترات (NO_3^-) والنتريت (NO_2^-) من حيث اعتبارها الصور المفضلة التي يمتصها النبات ، وتوجد هذه الصور الثلاث غالباً في محلول التربة وهي تشكل نسبة قد تقل عن 2% من كمية النايتروجين الكلي بالتربة . وسنحاول ايضاح بعض خصائص ايون النترات وايون الامونيوم وميكانيكية امتصاص كل منها ، وسنحاول ايضاً استبعاد ايون النتريت (NO_2^-) وذلك لقلة كمية في محلول التربة لدرجة يصعب قياسها أحياناً .

اولاً : ايون النترات

إنّ ايون النترات (NO_3^-) ايون سالب الشحنة لذا يصعب امدصاصه adsorption على سطح معادن الطين وذلك لتنافر الشحنة ، مما يسهل عملية غسله وحركته الى الماء الأرضي . وقد يدمص هذا الايون في الترب الحامضية على اسطح الغرويات والاكاسيد الموجبة الشحنة ، وعند غياب هذه المواد يفقد أيضاً الى الطبقات تحت السطحية حيث يتجمع في تلك الطبقات وعند غياب الاوكسجين يختزل الى صور غازية . وتعتمد كمية ايون النترات التي تفقد بالغسل على العوامل التالية :

(1) كمية ماء الري وعدد الريات .
(2) محتوى الترب من الاكاسيد والغرويات الموجبة الشحنة .
(3) قوام التربة إذ نزداد كمية الفقد بالغسل مع انخفاض محتوى التربة من الطين (جدول 7) .



شكل (13) غسل النترات بعد اضافة سماد نترات الكالسيوم الى سطح تربة رملية مزيجية تحت تأثير كميات مختلفة من الامطار الساقطة.

جدول (7) تأثير محتوى الطين بالتربة على كمية النترات المغسولة في عينات مزروعة بالرز حسب ماأورده (Enzmann, 1983) .

التربة	كمية النترات المغسولة مع ماء الري (ملغم/ سندان)	احتساب الكمية كنسبة مئوية
100% رمل	469.3	100
2/3 رمل + 1/3 طين	266.0	57
1/3 رمل + 2/3 طين	190.4	41
100% طين	150.8	32

تثبيت الامونيوم Ammonium fixation

يتعرض أيون الامونيوم المضاف للتربة أو الناتج من عملية المعدنة الى التثبيت بين طبقات الطين مما يعرقل حركته وقدرته التجهيزية للنبات وتعتبر معادن الطين 1:2 مثل مجموعة معادن الفيرميكوليت Vermiculites والسمكتيت Semectite وتحدد العوامل السابقة ومعدل النترجة محتوى محلول التربة من ايون النترات .
وعلى سبيل المثال فقد اكد (Page and Talibudeen, 1977) ان كمية كبيرة من ايون النترات تتجمع في الطبقة السطحية خلال فترة الجفاف وتقل مع ازدياد كميه الامطار الساقطة . وقد يرتفع مستوى محلول التربه من النترات بعد التسمبد مباشرة وقد يصل من 20 الى 30 ملي مول (Mengel and Kirkby, 1982) .
والشكل (13) يوضح حركة النترات من الاضافة السطحية لسماد نترات الكالسيوم الى تربة رملية مزيجية Sandy loam لم تزرع بمحصول معن إذ أخذت عينات من التربة بعد فترات متعاقبه من سقوط الامطار طبيعياً .
درجة الحرارة المنخفضة والمعرقلة لعملية النترجة وبذلك يقل فقد النايتروجين مع ماء الري .

والاليت Illite المسؤولة عن عملية التثبيت من خلال دخول ايون الامونيوم للفجوة السداسية المتواجدة في تشكيلة طبقة التراهيدرا سيليكا التي نصف قطرها 1.35 أنجستروم فقد اشار باحثون كثيرون الى أختلاف قدرة معادن الطين 1:2 المختلفة في تثبيت الامونيوم ، وبشكل عام فإن : الغير ميكوليت > الاليت > السمكتيت .

وقد ينظر الى صورة الامونيوم المثبتة بأنها صورة غير قابلة للتبادل الايوني . ويمكن أن تتحول الى صورة نترات بعملية النترجة كما أشار الى ذلك (Allison, 1955) الذي وجد أن 8% من الامونيوم المثبتة قد تحولت الى نترات بواسطة

بكتريا النترجة . كما اشار (Kowalenko and Cameron, 1968) الى قابلية النبات على امتصاص كمية لا تزيد عن 25% من الامونيوم المثبت . أما (Scherer and Mengel, 1979) فقد قدر كمية الامونيوم المثبتة في معادن 1:2 بحوالي 2000–3000 كغم نايتروجين/ هكتار وإن حوالي 100–300 كغم نايتروجين لكل هكتار قد يطلق خلال فترة النمو .

إنّ للمادة العضوية في التربة دوراً كبيراً في زيادة قدرة التربة على تثبيت الامونيوم من خلال إنجذابها الى الجاميع الكاربوكسيلية والفينولية المتأينة في الوسط القاعدي كما يوضح ذلك مخطط التفاعل الآتي :

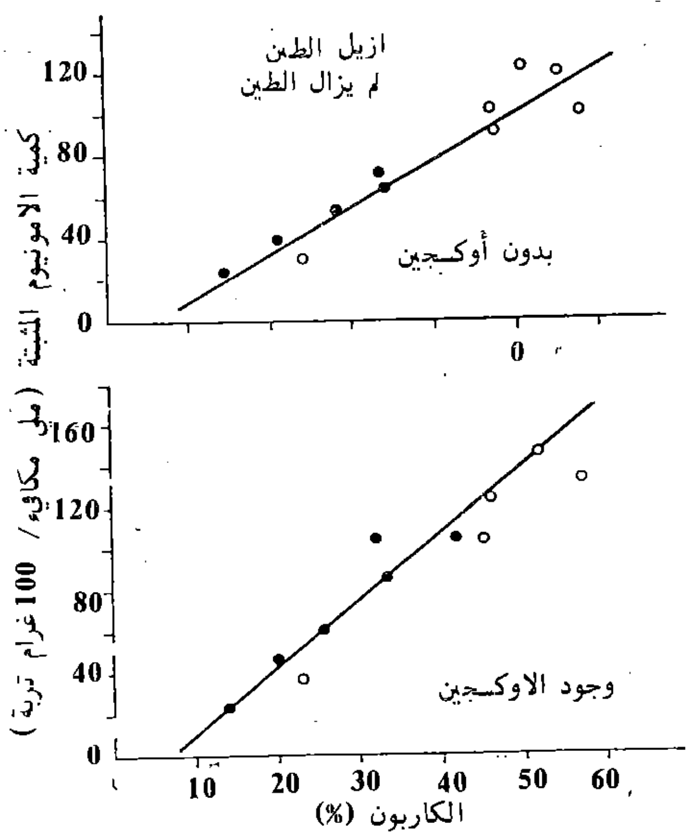
$$- O^{-} + NH_4^{+} \longrightarrow - ONH_4$$

مجاميع فينولية

$$- COO + NH_4^{+} \longrightarrow - COONH_4$$

مجاميع كاربوكسيلية

والشكل (14) يمثل العلاقة الخطية بين كمية الامونيوم المثبتة ومحتوى التربة من الكاربون العضوي كمؤشر لمحتوى المادة العضوية .

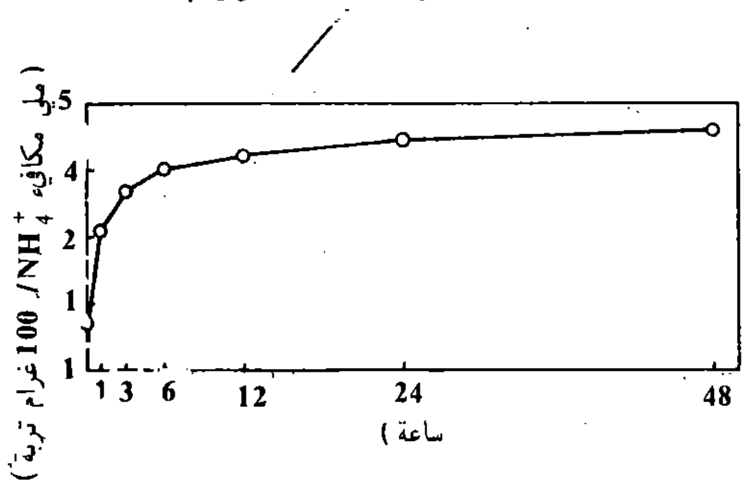


الشكل (14) العلاقة بين محتوى التربة من الكاربون والامونيوم المثبت بالتربة بوجود أو غياب الاوكسجين [حسب ما أورده Burge et al 1961] .

وتتأثر عملية تثبيت الامونيوم بعوامل متعددة يمكن ايجازها بالآتي :

1- فترة التفاعل

يرتبط معدل تثبيت الامونيوم ammonium fixation rate بشكل جوهري مع معدل الانتشار الأيوني ، إذ يمكن القول ان تثبيت ايون الامونيوم يكون في اقصاه بعد الفترة المباشرة من اضافة الامونيوم للتربة ويقل معدل التثبيت مع الزمن وصولاً لنقطة الاتزان (Nommik, 1965 ، Sippola et al 1973 ، Dissing-Nselsen, 1971) . وكما يوضح الشكل (15) بأن 60 الى 90% من الكمية المثبتة الكلية ثبتت خلال فترة الساعات الاولى بعد الاضافة .



شكل (15) تأثير وقت التفاعل بين كمية الامونيوم المضافة والتربة إذ ان الكمية المضافة تمثل 7.4 ملي مكافيء امونيوم لكل 100 غم تربة (Harada and Kutsuna, 1954) .

2- كمية الامونيوم المضافة

من البديهي القول بأن زيادة كمية الامونيوم المضافة تؤدي الى زيادة كمية الامونيوم المثبتة (Black and Waring, 1972, Sowden et al, 1978) ولكن نسبة الامونيوم المثبتة تقل مع زيادة الكمية المثبتة (جدول 8) . وقد اشار (Jansson, 1958) الى أن معدل الامونيوم وكميته المثبتة تقل مع زيادة نسبة التربة/ الماء Soil/ water ratio المستخدمة في طريقة تقدير كمية الامونيوم المثبتة .

جدول (8) العلاقة بين كمية الامونيوم المضافة والمثبتة في نموذج تربة ـ المعدن السائد ـ معدن الفيوميكوليت *(Nommik, 1957).

كمية الامونيوم المضافة ملي مكافيء / 100 غم تربة	كمية الامونيوم المثبتة ملي مكافيء / 100 غم تربة	كمية الامونيوم المثبتة % من الكمية المضافة
1	0.83	83
2	1.39	70
5	2.17	43
10	3.18	32
20	3.85	19
40	4.48	11

* نسبة التربة / الماء المستخدمة هي ١ : ١ .

3- التجفيف ودورات الترطيب والتجفيف

إن تجفيف التربة بعد إضافة املاح الامونيوم يؤدي الى زيادة تثبيت ايون الامونيوم وقد يرجع سبب ذلك الى تفاعلين رئيسين الاول : إن ازالة الماء تؤدي الى زيادة تركيز ايون الأمونيوم في محلول التربة وكذلك كمية الامونيوم المتبادلة والمثبتة والثاني : إن عملية التجفيف تساهم في زيادة قدرة معادن الطين على تثبيت الأمونيوم . وقد اشار (Black and Waring, 1972) الا أن تثبيت الإمونيوم يزداد بحوالي 3 الى 10 أضعاف بعد التجفيف الهوائي air-drying للعينة الترابية المستخدمة .

إن دورات الترطيب والتجفيف Wetting and drying cycles تساهم في زيادة كمية الامونيوم المثبتة فقد اشار (Jansson, 1958) الى ان كمية الامونيوم المثبتة ارتفعت من 50% عند ظروف الاحتفاظ بالرطوبة الى 63% بعد الدورة الاولى من الترطيب والتجفيف والى 77% بعد ثلاث دورات عند ثبوت درجة الحرارة عند 30°م .

4- نوع معدن الطين السائد

إن قدرة المجاميع المعدنية المختلفة في تثبيت الامونيوم تتحدد من خلال الخصائص العامة للمعدن السائد . ولابد من التأكيد على مجموعة معادن 2:1 التي لها دور كبير في عملية تثبيت الامونيوم بالتربة وكما سبق إيضاحه فإن هنالك اختلافاً كبيراً ضمن معادن هذه المجموعة في قدرة التثبيت .

5- محتوى مادة التربة العضوية

لقد سبق أن اوضحنا تأثير مادة التربة العضوية وطبيعة المعقدات المتكونة أثر التداخل . ومن اجل مزيد من الايضاح حول هذه النقطة فإن نتائج (Hinman, 1966) تؤكد أنَّ ازالة المادة العضوية بواسطة H_2O_2 أدى الى زيادة تثبيت الامونيوم ، ومن خلال ذلك كان الاستنتاج العام الذي توصل اليه (Hinman, 1966) هو ان زيادة محتوى مادة التربة العضوية يؤدي الى انخفاض كبير في كمية الامونيوم المثبتة . وقد فسر هذا الاستنتاج على اساس كون جزء من مادة التربة العضوية قد يمتص بين طبقات معادن الطين وبذلك يسد منافذ دخول ايون الامونيوم لمواقع التثبيت .

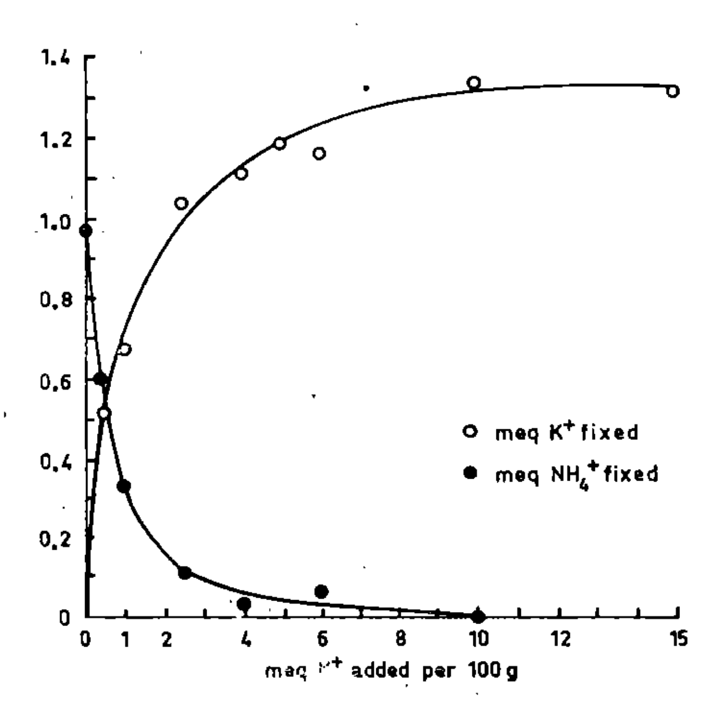
وهذا يعني أن للمادة العضوية تأثيراً مزدوجاً فهو يمنع عملية التثبيت من جهة ويساهم في زيادة التثبيت كما سبق أن اوضحنا من جهة اخرى . ولابد من الاشارة الى النتائج التي توصل اليها (Burge & Broadbent, 1961) وهي ، أن كمية الامونيا المثبتة قد ازدادت مع زيادة محتوى التربة من الكاربون العضوي من 14 الى 43% وإن العلاقة بين الاثنين علاقة خطية (شكل 14) وقد أكد (Young, 1964) إن كمية الامونيا المثبتة بواسطة المادة العضوية تتراوح بين 2-28% من كمية الامونيا المثبتة الكلية .

5- محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم

تقل كمية الامونيوم المثبتة مع أزدياد محتوى التربة من الكاربونات الصلبة (كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) التي تساهم في زيادة تطاير غاز الامونيا . وسنحاول شرح هذه الظاهرة في مكان آخر من هذا الفصل .

6- تأثير الايونات الاخرى

لابد من الاشارة الى تأثير ايونات موجبة أخرى لها القابلية على التثبيت في معادن 1:2 مثل K^+ و Rb^+ و Cs^+ ، ولقد أشار باحثون كثيرون الى إن ايون البوتاسيوم يعمل على عرقلة ميكانيكية تثبيت الامونيوم . ولكن تأثير هذا الايون الموجب يعتمد على وقت إضافته بالنسبة الى اضافة ايون الامونيوم . إن الشكل (16) يؤكد ماورد اعلاه من استنتاج أي أنَّ الاضافة المسبقة للبوتاسيوم تقلل من كمية الامونيوم المثبتة . ولكن إضافة البوتاسيوم بعد اضافة الامونيوم لا يكون لها تأثير واضح على كمية الامونيوم المثبتة . ويوضح الجدول (9) ذلك التأثير



شكل (16) تأثير أضافة مستويات مختلفة من البوتاسيوم على كمية الامونيوم المثبتة من مستوى الاضافة (10 ملي مكافيء امونيوم لكل 100 غرام تربة) علماً بأن فترة التفاعل 30 دقيقة ، حسب ما اورده (Stanford and Pierre, 1947) .

جدول (9) تأثير وقت إضافة البوتاسيوم على كمية الامونيوم المثبتة حسب ما أورده (Jansson, 1958) .

الكمية المضافة ملي مكافيء/ 100 غم تربة	كمية الامونيوم المثبتة (%)
0.714 ملي مكافيء امونيوم (NH_4^+)	42.7
0.714 ملي مكافيء امونيوم + 0.714 ملي مكافيء بوتاسيوم (الاضافة بنفس الوقت معاً)	50.0
0.714 ملي مكافيء امونيوم + 0.714 ملي مكافيء بوتاسيوم (اضيف البوتاسيوم بعد 2 ساعة من اضافة الامونيوم)	50.4
0.714 ملي مكافيء امونيوم + 0.714 ملي مكافيء بوتاسيوم (أضيف البوتاسيوم قبل 2 ساعة من اضافة الامونيوم)	28.3

7- تأثير الايون المرافق للأمونيوم

يؤثر الايون السالب المرافق لايون الامونيوم على الكمية المثبتة من الامونيوم. وقد يفسر هذا التأثير احياناً من خلال تأثير الايون على الرقم الهايدروجيني (pH) التربة. أو وفقاً لقاعدة Paneth-Fajans-Hahn التي تشير الى أن القابلية العالية لامتصاص الايونات السالبة تشجع على امدصاص الايونات الموجبة. لذا فإن (Leggett, 1958) أكد صحة الاستنتاج الوارد اعلاه، بعد أنْ وجد التأثير الكبير للفسفور على زيادة الكمية المثبتة من الامونيوم.

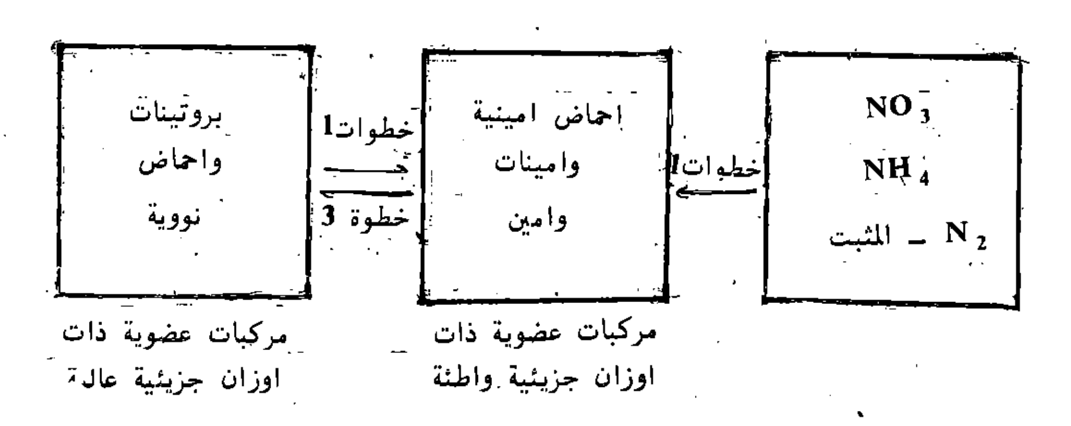
لقد اشار (Allison **et al**. 1953, Schwertmann, 1966) الى أن جزءاً قليلاً فقط من الامونيوم المثبتة تتعرض بفعل احياء التربة لعملية النترجة. واوضح (Guo **et al**, 1983) بأن معدل اكسدة الامونيوم المثبتة أبطأ بكثير من الامونيوم المتبادلة. وبهذا يمكن القول إن الامونيوم المثبتة لاتؤدي دوراً كبيراً في تغذية النبات ولكن لابد من ذكر بعض التقارير العلمية التي أشارت الى انطلاق الامونيوم المثبتة خلال موسم النمو، والنتائج التي توصل اليها (Van Praag **et al**, 1980) تبين معدل تحرر الامونيوم المثبتة وجاهزيتها للمحاصيل المنزرعة (جدول 10).

جدول (10) تغير محتوى الامونيوم المثبتة خلال فترة نمو محصولي الحنطة والشوفان **(Van Praag et al, 1980)**.

العمق «سم»	محصول الحنطة حصد عام 1972	محصول الشوفان حصد عام 1973
	ملغم نايتروجين/ كغم تربة جافة	
10-0	80.5	81.4
20-10	89.3	81.4
30-20	92.8	69.1
40-30	104.0	62.5
50-40	110.0	63.9
60-50	115.0	88.1
70-60	127.8	98.0

النايتروجين ونمو النبات

يمتص النبات النايتروجين من محلول التربة إما بصورة ايون الامونيوم وإما بصورة ايون النترات . ويكون تركيز ايون النترات في محلول التربة اكثر من ايون الأمونيوم غالباً ماعدا في الترب الحامضية التي تمتص مزيداً من ايون النترات ، واحياناً تتساوى الصورتان كلتاهما أو تكون السيادة الى ايون الامونيوم . ولابد إذن من تحديد أفضلية أي من الصور السابقة للمحاصيل الزراعية وعلاقة ذلك بالانتاج الزراعي . ووفقاً للمخطط (شكل 17) الذي أشار اليه (Mengel and Kirkby, 1982) بأن خطوات الامتصاص والاستفادة من النايتروجين تتضمن الامتصاص المباشر لهذه الصورة ثم تحويلها الى احماض امينية amino acids كخطوة وسطية تتحول من خلالها الى مركبات بروتينية يستفيد منها النبات في العمليات الحيوية وتكوين الانسجة المختلفة .

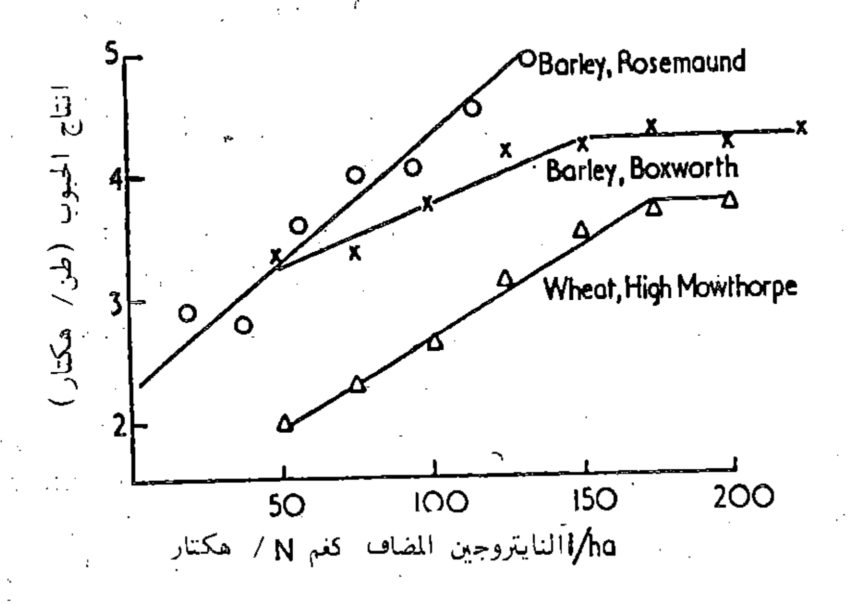


شكل (17) خطوات الامتصاص والاستفادة من صور النايتروجين الممتصة .

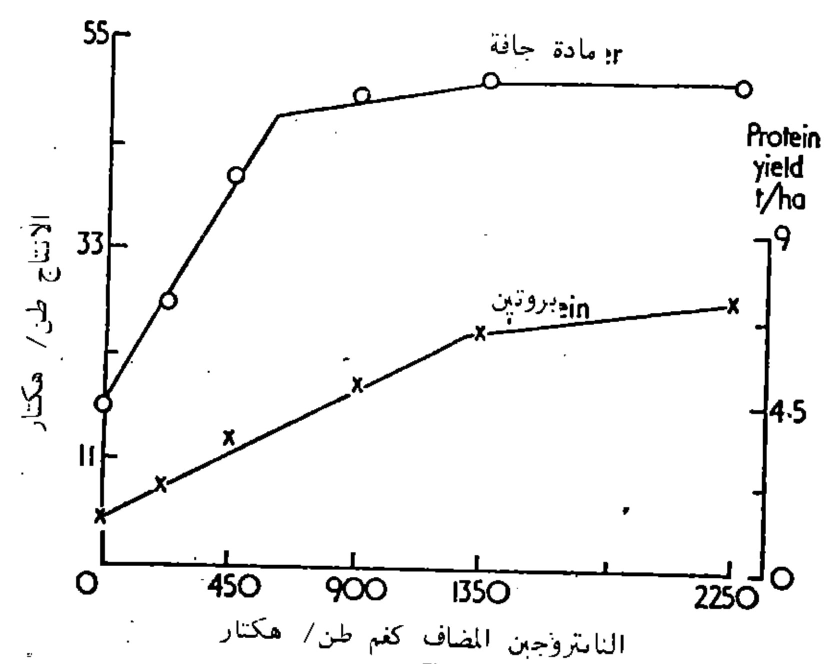
وان زيادة مستوى جاهزية النايتروجين اللازم لتغذية النبات يؤدي الى زيادة الكمية الممتصة وبذلك تزداد كمية المكونات العضوية ولكن بنسب متفاوتة . ويرافق الزيادة في التسميد النايتروجيني غالباً زيادة في كمية الاحماض الامينية الحرة free amino acids والامينات Amines والامايز Amides بنسب عالية جداً بالمقارنة مع زيادة كمية البروتينات . ولكن كنتيجة نهائية ومع تقدم ظروف نمو النبات يزداد محتوى النبات من البروتين وقد تصل نسبته الى 80-85% من محتوى انسجة النبات للنايتروجين الكلي . وقد يصل محتوى النبات من nucleic

acias الى حدود 10% ومن الاحماض النوويه الدائبة الى ٥% من محتوى النايتروجين الكلي في أنسجة النبات . وهذا يؤكد أهمية زيادة محتوى العديد من المحاصيل الحقلية من البروتين من خلال التسميد النايتروجيني . وبشكل عام يمكن لقول إنَّ اضافة الاسمدة النايتروجينية يؤدي الى زيادة انتاجية المحاصيل الزراعية (شكل 18) وكذلك محتواهْ البروتيني (شكل 19) . ولكن من الخطأ القول إن هنالك علاقة طردية بين كمية النايتروجين المضافة والانتاج الزراعي للمحاصيل بل إن الاحتياج الخاص والقابلية الوراثية في استغلال الصور العضوية النايتروجينية المتكونة في زيادة الانتاج الزراعي . وهذا يؤكد أهمية معرفة الحدود الحرجة اللازمة للوصول الى اقصى انتاج maxium yield .

ولابد من الاشارة الى إن عملية تكوين الاحماض الامينية من ايون الامونيومْ الممتص من قبل أي نبات تختلف عن تلك الخاصة بأيون النترات إذ يختزل ايون النترات اولاً الى ايون الامونيوم . ويمكن إيضاح هذه الخطوة التي تستهلك طاقة بالمعادلة الآتية :



شكل (18) العلاقة بين انتاج محاصيل الحبوب وكمية النايتروجين المضافة (حسب ما أورده IPI, 1970)



شكل **(19)** العلاقة بين انتاجية المادة الجافة ومحتوى البروتين مع كمية النايتروجين المضافة (حسب ما أورده **IPI, 1970**) .

$$NO_3^- + 2e \xrightarrow[\text{النترات}]{\text{عامل مختزل}} NO_2^- + 6e \xrightarrow[\text{النتريت}]{\text{عامل مختزل}} NH_4^+$$

إن إختزال $NO_3^- \longrightarrow NO_2^-$ يتم بمساعدة عامل مساعد (reducing agent) الا وهو nicotninamide adenine dinucleotide (NADH) الموجود في السايتوبلازم . إن تكون هذا العامل يستلزم اكسدة الكاربوهيدريت (كلوكوز) إذ ان كل وحدة نترات تختزل ماتستهلك بذلك (8) اليكترون و (8) أيون هايدروجين ويحصل النبات على ذلك من الاكسدة الكاملة لجزيئة الكلوكوز The Complete oxidation of a glucose molecule إذ يتحرر (24) اليكتروناً و (24) هايدروجين . وهذا يعني ان 0.33 مول أو 60 غم من الكلوكوز الناتج من عملية التركيب الضوئي تستهلك لكل مول نترات (14 غم نايتروجين) يختزل في هذه الخطوة .

أما الخطوة التالية وهي تحويل $NO_2^- \longrightarrow NH_4^+$ فإنها تحتاج الى عامل مساعد آخر الا وهو ferrodoxin-nitrite oxido reducate الذي يوجد في البلاستيدات الخضر Chloroplaste ، وهذه الخطوة تستهلك طاقة ايضاً .

يتعرض ايون الامونيوم الممتص من قبل النبات أو المتكون بعد آختزال النترات الى التحول ليكون مركبات عضوية نايتروجينية إذ يختلط مع glutamic acid ليكون glutamine ومن ثم تتكون الاحماض الامينية amino acids والبروتينات .

إن معدل تحول الامونيوم الى مركبات عضوية يكون سريعاً غالباً ، وبذلك تجمع الامونيوم نادراً في خلايا النبات ، وفي الحقيقة ان عرقلة تحول الامونيوم وتجمعه في خلايا النبات يشكل خطراً على نمو النبات . وقد يكون هذا هو السبب في كون بعض النباتات تحتوي على نسبة عالية من ايون NO_3^- بالمقارنة لمحتواها من ايون الامونيوم .

وتختلف القدرة التفضيلية لكلٍ من صورة الامونيوم والنترات للامتصاص من قبل النبات بالعوامل الآتية .

1- نوع النبات

تختلف القابلية التفضيلية للنباتات لصور النايتروجين الممتص بأختلاف النبات المزروع احياناً . إذ وجد Clarkson & Warner, 1979 أنَّ الحشائش تفضل ايون الامونيوم على ايون النترات ولكن اشار Ansari and Bowling, 1972 الى عكس ذلك بالنسبة الى محصول عباد الشمس ، وقد ايده (Rao & Rains, 1976) على ذلك .

2- pH التربة

لقد اشارت معظم المصادر العلمية الى أن ارتفاع قيمة الرقم الهايدروجيني (pH) التربة يؤدي الى زيادة امتصاص ايون الامونيوم وإن إنخفاضها يؤدي الى زيادة قابلية إمتصاص ايون النترات . والجدول (11) يوضح امتصاص نبات الشعير لصورتي النترات والامونيوم في ظروف pH مختلفة .

وقد فسر بعض الباحثين امثال Weissman, 1950, Wallace, 1953 Michael et al 1965, بإن السبب يرجع الى زيادة حالة التنافس بين ايون النترات وايون الهايدروكسيل في الوسط القاعدي التفاعل . كما إن عملية إختزال النترات الى امونيوم تحتاج الى طاقة كما سبق أن اوضحنا ويتحرر ايون الهايدروكسيل الذي يتعادل في الظروف الاعتيادية مع ايون الهايدروجين المرتبط بالاحماض العضوية مكوناً جزئية ماء . وقد أرجع Dijkshoorn, 1962 السبب ايضاً الى تحرر ايون الهايدروكسيل مما يؤدي الى ارتفاع قلوية الوسط ولكن هذا

الايون سرعان مايتعادل في الظروف الاعتيادية مكوناً جزيئة ماء وبذلك يتعادل الوسط الخلوي للجذر .

جدول (11) تأثير الرقم الهايدروجيني (pH) الوسط على امتصاص ايوني الامونيوم والنترات (Wallace & Mueller, 1957) .

pH	NO_3^--N	نسبة مئوية في المادة الجافة NH_4^--N
3.5	0.040	0.064
5.5	0.045	0.075
8.0	0.036	0.086
L.S.D (0.05)		0.013

إن الزراعة في الترب القلوية تشجع النبات على امتصاص مزيد من ايون الهايدروكسيل الذي سرعان مايتفاعل مع ايون الهايدروجين المتحرر من الاحماض العضوية مما يفوت الفرصة على أيون الهايدروكسيل المتكون من عملية الاختزال وبذلك يعرقل عملية أختزال النترات وتجمعه داخل النبات وبالتالي تنخفض قابلية النبات على امتصاص هذا الايون .

3- درجة الحرارة

إن إنخفاض درجة الحرارة يؤدي الى زيادة كمية الامونيوم الممتصة من قبل النبات بالمقارنة لما يمتص من ايون النترات ، وقد علل Clarkson and Warner, 1979 ذلك بالتغيرات الفيزياوية التي تحصل في الجدار الخلوي مما يشجع حركة الايون الموجب الصغير الحجم من خلال الجدار وعرقلة مرور الايون السالب ذي الحجم الكبير .

4- محتوى النبات الكاربوهيدراتي

تفضل المحاصيل الكاربوهيدراتية امتصاص النايتروجين على هيئة أمونيوم غالباً وقد اشار Kirkbye & Hughes, 1970 الى أنَّ سبب ذلك يرجع الى قدرة هذه على تزويد عملية تمثيل الامونيوم الى الاحماض العضوية بالطاقة اللازمة دون التأثير الكبير على محتوى المحصول من الكاربوهيدرات . ان امتصاص ايون النترات يؤدي

الى خفض كبير في مخزون المحصول من الكاربوهيدرات لما تستهلكه عملية اختزاله وتمثيله من طاقة . وهنالك الكثير من الاستفسارات حول الاحتمالات العلمية والعملية من اضافة اسمدة نايتروجينية تحتوي على صورة النترات أو الامونيوم او الاثنين معاً وعلاقة ذلك بطاقة الأختزال والتمثيل ومحتوى الخزين الكاربوهيدراتي بالنبات ، وسنحاول في هذا الفصل تجنب الاسهاب في مناقشة هذه الاستفسارات .

لقد اشار باحثون كثيرون الى وجود وعلاقة واضحة عند أخذ تأثير عنصر النايتروجين بصوره المختلفة على محتوى المحصول من الكاربوهيدرات . فقد اشار **Hasegawa et al** 1962 الى إن التسميد النايتروجيني يقلل من محتوى السكر في اوراق محصول الرز . أما نتائج (**Walker et al** 1950) الموضحة في جدول (12) فإنها تتفق مع ذلك .

جدول (12) تأثير اضافة النايتروجين بهيئة نترات الامونيوم على الانتاج ومحتوى السكر في محصول البنجر السكري (Walker et al 1950) .

النايتروجين المضاف كغم / هكتار	انتاج البنجر طن متري/ هكتار	السكروز في البنجر (%)	انتاج السكروز طن متري/ هكتار
0	46	18	8.2
90	54	17	9.0
180	59	16	9.7
269	61	15	9.0

وقد لا يظهر تأثير التسميد النايتروجيني على محتوى النبات من الكاربوهيدرات عند مستويات التسميد الواطئة او المتوسطة . لذا تكون البديهية السائدة ، أن اقصى انتاج من السكر يكون في المستويات الواطئة من التسميد النايتروجيني . اذن عندما تكون هناك رغبة في زيادة محتوى اي محصول من الكاربوهيدرات يجب ألا نأخذ بنظر الاعتبار الصورة التي سيضاف عليها النايتروجين فحسب بل كميته المضافة أيضاً لما لها من دور هام جداً .

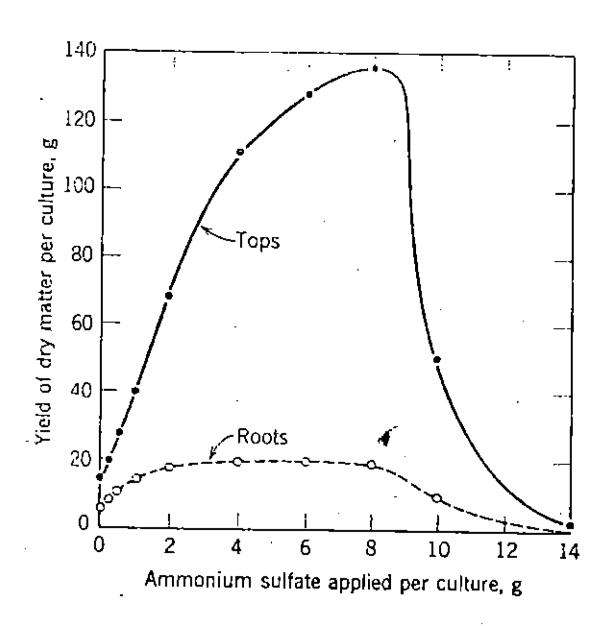
اعراض نقص النايتروجين

سنحاول هنا إيضاح اعراض نقص النايتروجين وأثر ذلك على الانتاج الزراعي من خلال فهم اهمية هذا العنصر ودوره في مختلف العمليات الحيوية في مراحل النمو . فالنايتروجين عنصر ضروري لنمو النبات إذ يدخل في تكوين البروتينات

والبلاستيدات الخضراء والاحماض النووية وغيرها من التركيبات المكونة لخلايا النبات وأنسجته.. لذا فإن نقص النايتروجين يؤثر بشكل جوهري ومباشر على انتاجية المحاصيل ، وتظهر اعراض نقصه الفسيولوجية اولا على الاوراق القديمة .
ولابد من الاشارة الى أنَّ اعراض نقص هذا العنصر بصورة عامة تختلف من نبات الى آخر ويمكن ايجاز ظواهر النقص بالآتي :

(1) نمو قصير للمحاصيل ، إذ يبقى النبات قصيراً . نحيف الساق ، صغير الاوراق .
(2) يكون الاصفرار هو اللون السائد لعدم قدرة البلاستيدات الخضراء على التطور ، ويظهر هذا اللون في الاوراق القديمة اولا ويغطي جميع انحاء الورقة . وقد تتشابه اعراض النقص المتعلقة باللون لعناصر أخرى مثل الحديد والكالسيوم والكبريت مع اعراض النقص المتعلقة باللون للنايتروجين . ويمكن التمييز بين الحالتين من خلال كون اعراض نقص العناصر الثلاثة السابقة الذكر تظهر اولاً على الاوراق الحديثة . وقد لاتكون هنالك اي مدلولات علمية دقيقة للظواهر اللونية في تحديد نقص عنصر النايتروجين . ومن اجل الارتقاء الى افضل انتاجية ، فقد اشار (Viets et al, 1954) الى ان جميع اوراق الذرة الصفراء الحاوية على 2.2% نايتروجين أو اكثر لاتعاني من اعراض نقص النايتروجين المتعلقة باللون وإن زيادة تركيز النايتروجين في النبات حتى 2.8% يتبعها غياب اعراض نقص النايتروجين المتعلقة باللون رغم كون النبات يعاني من النقص ووجدوا ان المحتوى 2.8% نايتروجين قد يكون مناسباً لاعطاء اقصى انتاجية .
(3) تنضج النباتات بسرعة وتكون مدة النمو الخضري قصيرة زمنياً مما ينعكس ذلك سلباً على الانتاجية .
(4) إنَّ محتوى النبات من البروتين ينخفض بشكل عام مع أزدياد نقص النايتروجين ، ويمكن وصف تأثير نقص النايتروجين على محاصيل الحبوب بفقر النمو وانخفاض مساحة الاوراق وعدد الحبوب في السنبلة وصغر حجمها وارتفاع محتواها من البروتين بسبب عدم قدرة الكاربوهيدرات على الانتقال في مرحلة النمو الاخيرة الخاصة بامتلاء الحبوب .
(5) تمتاز المجاميع الجذرية للمحاصيل المزروعة في ترب فقيرة بمحتواها النايتروجيني بكثرة تشعبها . وإن نسبة (الجذور / الجزء الخضري) عالية . وهذه النسبة قد تنعكس عند توفر مزيد من النايتروجين للامتصاص من قبل النبات (شكل 20) .

أي أن ذلك يعني انه في الترب الغنية بالنايتروجين تكون الجذور قصيرة وسميكة وجيدة التفرع . ويكمن تفسير ذلك في استهلاك الجذر للكمية القليلة من النايتروجين الممتص من التربة الفقيرة المحتوى وبذلك تقل الكمية المتحركة من النايتروجين للقمة لكي تتفاعل مع الكاربوهيدريت لتكون مزيداً من الخلايا الجديدة



شكل (20) انتاجية الجزء الاعلى **Tops** والجزء الجذري **roots** لمحصول الشوفان المزروع في مزرعة رملية بعد اضافة مستويات مختلفة من سماد كبريتات الامونيوم **(Meyer and Storck, 1927)** نقل من **(C.A. Black, 1968)**.

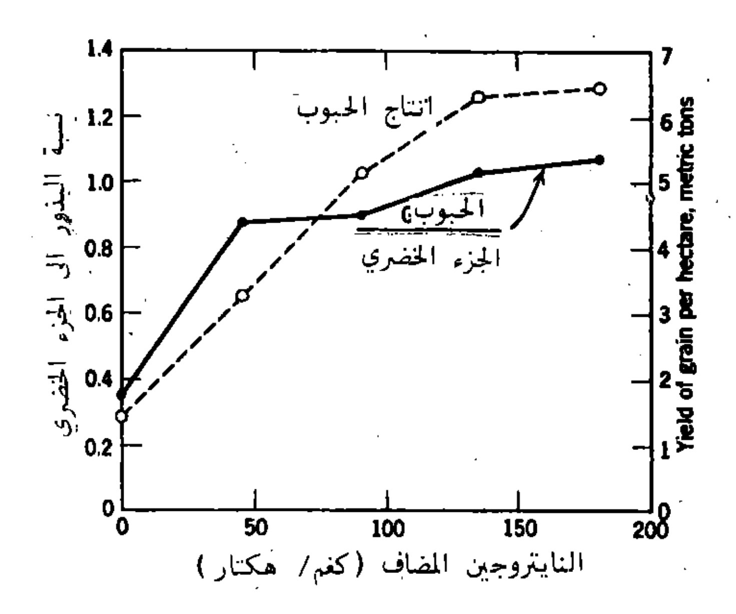
مما يسبب ضعف انتاجية الجزء الخضري على حسب نمو المجموع الجذري . وقد تساهم هذه الحالة في خلق حركة معاكسة إذ تتحرك الكاربوهيدرات من الاوراق الى المجموع الجذري ويتفاعل في موقعه الجديد مع النيتروجين الممتص مما يدفع الى مزيد من النمو للمجموع الجذري على حساب النمو الخضري للاجزاء الأخرى .

إن التسميد النايتروجيني بعكس الحالة إذ يؤدي الى دفع مزيد من النايتروجين الى الاعلى حيث يتفاعل مع الكاربوهيدرات ويكون خلايا جديدة تساعد على زيادة النمو والانتاج . والحالة الجديدة ستعرقل حركة مزيد من الكاربوهيدرات الى الاسفل (الجذور) وبذلك يقل نمو المجموع الجذري وانتشاره في حين يتشجع النمو الخضري .

إن ماسبق إيضاحه قد يفسر لنا سبب كون الزيادة غير الطبيعية في التسميد النايتروجيني تفقد الساق سمكه الطبيعي . اي تتكون نباتات ضعيفة السيقان ذات خلايا رقيقة الجدران مما ينعكس ذلك سلبا على الانتاج . اي بعبارة أخرى إن امتصاص النبات لمزيد من النايتروجين يشجعه على نمو الانسجة المختلفة التي تقوم بإنتاج مزيد من الكاربوهيدرات الذي سوف يتفاعل مع النايتروجين لتكوين خلايا جديدة وتستمر هذه الحالة مادام النبات يمتص عنصر النايتروجين . ويمكن القول بأن الزيادة غير الطبيعية للتسميد النايتروجيني ستعرقل عملية التوازن بين محتوى

المحصول من البروتين ومحتواه الكاربوهيدراتي مما يؤثر سلبا على الانتاج من خلال تأخير دخول النبات مراحل النضج .

ومن هذا نجد إن زيادة النايتروجين للحدوذ البعيدة عن الاحتياج اللازم لأقصى انتاجية يؤدي الى دفع نباتات الطماطة الى عدم انتاج الثار كما يؤدي الى دفع محاصيل الحبوب لانتاج محصول بدون حبوب . الشكل (21) يوضح تأثير اضافة مستويات مختلفة من النيتروجين على انتاجية المحصول من الحبوب ولكن هذا لا يعني بالضرورة إن زيادة النايتروجين الجاهز للنبات يؤدي الى زيادة محتوى النبات من النايتروجين بل بالعكس، ويرجع سبب ذلك الى تأثير التخفيف dilution effect وبذلك ينخفض محتواه البروتيني . إذن يمكن من خلال ماورد سابقاً التأكيد على اهمية تحديد الكمية المناسبة من النايتروجين الجاهزة عند الرغبة في الوصول الى اقصى انتاجية مع الأخذ بنظر الاعتبار طبيعة التداخل Interaction بين مدى الاستفادة من الصور النايتروجينية والعوامل البيئية المحيطة أو العناصر الغذائية الأخرى الموجودة اصلاً أو المضافة للتربة .



شكل (21) انتاج محصول الذرة الصفراء من الحبوب ونسبة $\frac{\text{الحبوب}}{\text{الاوراق + الساق}}$ مع اختلاف مستوى النايتروجين المضاف (استل من Black, 1968) .

الميزان النايتروجيني Nitrogen balance

من خلال دراستنا لدورة النايتروجين بالتربة والجو لاحظنا أنَّ صوراً من النايتروجين المعدني تتحرر من المركبات النايتروجينية العضوية خلال عملية المعدنة وإن جزءاً منه قد يتدهور من خلال رجوعه مرة ثانية ليكون مركبات نايتروجينية عضوية . ولقد تعرضت دراستنا للنايتروجين الى مسارات النايتروجين وسلوكه بالتربة ومايتعرض له من عمليات مختلفة تفقده أحياناً قيمته الغذائية والتجهيزية الآنية أو تكسبه دوراً رئيسياً ومساهماً في عمليات التجهيز الغذائي . لذا كان الاتجاه نحو دراسة الميزان النايتروجيني الذي يمكن أن يعبر عن محصلة المسارات والتفاعلات المختلفة كالمعدنة والتدهور وامتصاص النبات والغسل والتطاير وعكس النترجة وغيرها التي يتعرض لها النايتروجين بالتربة وبذلك يمكن حساب الكمية المضافة والمتبقية في أي وقت يختار لذلك .

إن دراسة الميزان النايتروجيني تعبر وبدقة علمية وعملية عن كفاءة استهلاك النايتروجين من قبل النبات وحجم الدور لعمليات التحول الكيمياوية والبايلوجية السائدة في نظام التربة . لقد اهتم الكثير من الباحثين بدراسة الميزان النايتروجيني وكان (Lawes et al. 1882) من الاوائل الذين قدروا الميزان النايتروجيني لمحصول الحنطة المزروع في تجربة حقلية . وسوف نتجنب الإسهاب في هذا الموضوع بالرغم من اهميته وسنكتفي ببعض الامثلة التوضيحية والتجارب العملية .

لقد حدد باحثون كثيرون امثال Fried et al، Cameron et al 1978، 1976 ، Meisinger, 1976 ، Pratt et al. 1972 وغيرهم حددوا الميزان النايتروجيني بما يكفي التعبير عنه من خلال المعادلة الآتية :

الميزان النايتروجيني = (كمية النايتروجين الموجودة بالتربة + الكمية المضافة N-inputs)

مطروحاً منها كمية النايتروجين المفقودة من التربة N-Out puts وهذا يعني أنَّ الكمية المضافة N-Inputs تشمل الآتي :

(أ) كمية النايتروجين المثبتة بايلوجياً من قبل المحاصيل .
(ب) كمية النايتروجين المضافة بهيئة اسمدة كيمياوية معدنية أو عضوية .
(جـ) المخلفات النباتية أو الحيوانية المضافة الى التربة ومقدار المعدنة ودورها في زيادة جاهزية النايتروجين .
(د) مايضاف من نايتروجين مع ماء الري والامطار والمصادر الأخرى التي تساهم في زيادة نايتروجين التربة مع تحديد الصورة التي يستقر عليها النايتروجين .

أما الكمية المفقودة من النايتروجين N-Outputs فإنها تمثل

(أ) كمية النايتروجين المثبتة بغرويات التربة ـ المغسولة الى افاق التربة البعيدة عن المنطقة الجذرية ـ المتطايرة أو المفقودة بصورة غازية .

(ب) كمية النايتروجين المتحولة الى صور عضوية خلال عملية التدهور Immobilization .

(جـ) الكمية الممتصة من قبل النبات .

وتختلف مفردات الميزان النايتروجيني من تربة الى اخرى وفقاً لخصائصها الفيزياوية والكيمياوية ، وكذلك فإن للظروف البيئية السائدة دورا كبيراً في تحديد ذلك . وتشير نتائج جدول (13) الى الميزان النايتروجيني الكلي Total nitrogen balance لتجربة حقلية .

جدول (13) الميزان النايتروجيني الكلي لفترة ٤ سنوات (كغم نايتروجين لكل هكتار (حسب ماورد Dowdell et al 1984) .

	المعاملة السمادية المضافة (كغم N / هكتار)				
	أ	ب	جـ	د	هـ
كمية النايتروجين المضافة					
الأسمدة	–	320	480	480	480
الامطار	40	40	40	40	40
المجموع	40	360	520	520	520
كمية النايتروجين المفقودة					
الكمية الممتصة من قبل النبات	210	382	440	493	484
المغسولة الى آفاق التربة	346	306	346	263	313
المفقود بعكس النترجة	–	48	99	68	96
المجموع	556	736	885	824	893
الفرق (المفقود - المضاف)	516	376	365	304	373

ومن خلال دراسة الميزان النايتروجيني يمكن تحديد الكمية الجاهزة من النايتروجين للنبات في أي مرحلة من مراحل النمو وكذلك حساب الكمية المتبقية من السماد المضاف بعد موسم أو اكثر من الزراعة . فقد حدد (Broadbent and Carlton, 1978) كمية النايتروجين المتبقية بالتربة بعد إنتهاء الموسم الزراعي بالمعادلة الآتية :

$$N_{EXIN} = N_F - N_{HC} - N_D + (N_{NA} - N_{OL}) + N_{SON}$$

إذ أن

N_{EXIN} = تمثل كمية النايتروجين المتبقية بالتربة

N_F = كمية السماد النايتروجيني المضاف

N_{HC} = كمية النايتروجين الممتصة من قبل المحصول

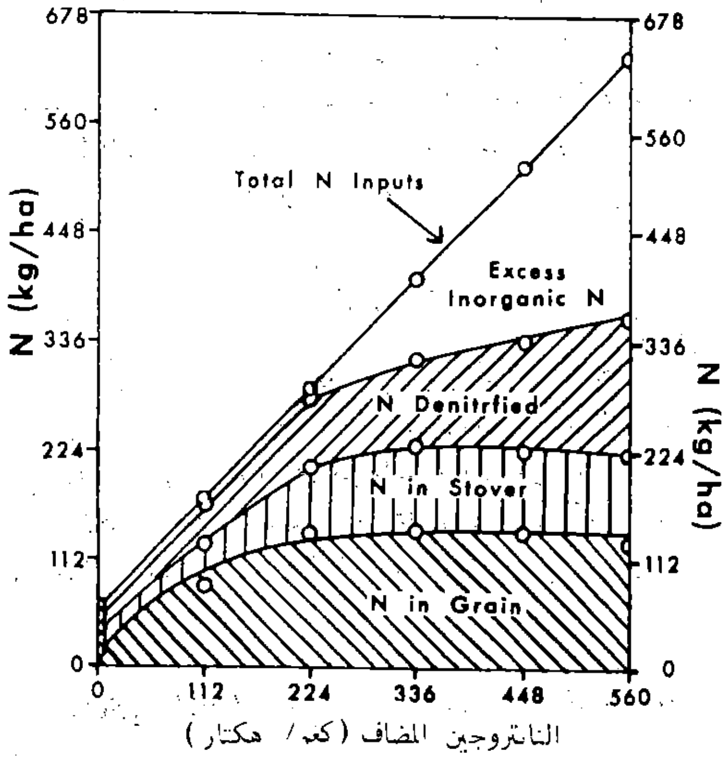
N_D = كمية النايتروجين المفقودة بعملية عكس النترجة

N_{NA} = كمية النايتروجين المضافة مع ماء المطر والري ، والنايتروجين المثبت بايلوجياً

N_{OL} = كمية النايتروجين المفقودة بالتعرية وتطاير النايتروجين وغيرها من العمليات الخاصة بالفقد

N_{SON} = كمية النايتروجين المتحررة من المصادر العضوية خلال عملية المعدنة

ويوضح الشكل (22) نتائج (Broadbent and Carlton, 1978, 1979) بعد زراعته لمحصول الذرة الصفراء فقد استطاع حساب الكمية المتبقية أي الفائض النايتروجيني المتجمع بعد الزراعة وعلاقة ذلك بكمية السماد النايتروجيني المضافة .



شكل (22) المعدل السنوي لتوزيع الكمية الكلية من النايتروجين المضافة الى تربة مزيجية .

الأسمدة النايتروجينية Nitrogen fertilizers

لقد سبق أنْ أوضحنا أنَّ النبات يمتص النايتروجين إما بصورة أيون امونيوم أو ايون نترات لذا فإن معظم الأسمدة الكيمياوية المصنعة تحتوي على إحدى الصورتين أو على كليهما معاً . ولهذا فإننا سنحاول تقسيم الاسمدة النايتروجينية الى خمسة اقسام هي : —

(1) الأسمدة التي تحتوي على النايتروجين بصورة أيون امونيوم (NH_4^+) .
(2) الأسمدة التي تحتوي على النايتروجين بصورة أيون النترات (NO_3^-) .
(3) الأسمدة التي تحتوي على النايتروجين بصورتين هما ايون الامونيوم وايون النترات .
(4) الأسمدة التي تحتوي على النايتروجين بصورة أمايد amide $-NH_2$.
(5) مجموعة الأسمدة السائلة .

وسنحاول بإيجاز شرح صناعة الأسمدة النايتروجينية وخصائصها ضمن الأقسام المبينة اعلاه .

اولاً : الأسمدة التي تحتوي على أيون الامونيوم

إنَّ جميع هذه الأسمدة ذائبة بالماء كما إن أيونات الامونيوم المتحررة من هذه الأسمدة تتأكسد بسرعة في الترب المتعادلة neutral soils والترب القليلة الحامضية Slightly acid soils الى أيون النترات . ويختلف تأثير هذه الأسمدة من خلال التأثير الحامضي على خواص التربة . واهم هذه الأسمدة هي :

أ — سماد كبريتات الامونيوم $(NH_4)_2SO_4$

يحتوي هذا السماد على 21% نايتروجين و 23.4% كبريت . ويحضر هذا السماد من تحضير الامونيا بطريقة هابر — بوش وذلك باستعمال النايتروجين الجوي وهايدروجين الماء ثم يمرر مخلوطاً في خزانات تحتوي على جبس مطحون ثم يمرر غاز ثاني اوكسيد الكاربون تحت ضغط قوي مما يؤدي الى تكوين كاربونات الامونيوم $(NH_4)_2CO_3$ ثم تدفع مادة الكاربونات للتفاعل مع الجبس من جديد لينتج كبريتات الامونيوم

$$(NH_4)_2CO_3 + CaSO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

يفضل محلول هذا السماد ويرشح ويبخر . ويمكن تحضير هذا السماد من تفاعل الامونيا الناتجة من غازات في صناعة تقطير فحم الكوك مع حامض الكبريتيك

$$2NH_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

ويفضل تنقية الامونيا من الشوائب قبل الاستعمال .

ب - سماد كلوريد الامونيوم NH_4Cl

يحتوي هذا السماد على 26% نايتروجين ، كما يحتوي هذا السماد على نسبة لا بأس بها من الكلوريد مما يقلل فائدة استعماله في الترب المتأثرة بالاملاح . ويعتبر هذا السماد من الاسمدة الشائعة الاستعمال في اليابان . كما إنه يفضل على سماد كبريتات الامونيوم عند الاضافة للاراضي المزروعة بالرز تجنباً لعملية إختزال الكبريتات وتكوين غاز H_2S السام للنبات . ويحضر هذا السماد من تفاعل كاربونات الامونيوم المحضر بالخطوة السابقة مع كلوريد الصوديوم

$$(NH_4)_2CO_3 + 2NaCl \longrightarrow 2NH_4Cl + Na_2CO_3$$

ويحتوي هذا السماد على نسبة قليلة من الصوديوم بالاضافة الى محتواه من الكلوريد .

جـ - سماد فوسفات احادي الامونيوم $NH_4H_2PO_4$

يحتوي هذا السماد على 11% نايتروجين و 21% فسفور ، وسنتناول شرح اسلوب صناعة هذا السماد لاحقاً في الفصل الثالث .

د - سماد فوسفات ثنائي الامونيوم $(NH_4)_2HPO_4$

يحتوي هذا السماد على 16-21% نايتروجين و 21-23% فسفور وسنتناول اسلوب صناعته لاحقاً في الفصل الثالث .

ثانياً : الاسمدة التي تحتوي على ايون النترات

تكون جميع الاسمدة الحاوية على النايتروجين بصورة أيون النترات ذائبة بالماء . وإن إختيار اي نوع من هذه الأسمدة يعتمد على الأيون المرافق فقد يكون البوتاسيوم أو الكالسيوم او الصوديوم أو الامونيوم . ولا يفضل اضافة هذه الاسمدة

للترب المغمورة بالمياه (الاراضي المزروعة بالرز) او الترب التي يكون مصدر الري معتمداً على الامطار وذلك لسهولة غسل ايون النترات . ومن هذه الأسمدة الآتي :

أ ـ سماد نترات الصوديوم $NaNO_3$

يحتوي هذا السماد على 16% نايتروجين بصورة ايون النترات و 26% صوديوم ويفضل اضافة هذا السماد الى الأراضي المزروعة بالبنجر السكري غالباً وذلك لسد احتياجات هذا المحصول من أيون الصوديوم بالاضافة الى النايتروجين .

يحضر هذا السماد من الامونيا المحضرة بطريقة هابر ـ بوش ، ثم تؤكسد هوائياً الى اكاسيد النترات وتمتص هذه الاكاسيد في محلول كاربونات الصوديوم فتتكون نترات الصوديوم التي تتجمع وتتبلور .

ب ـ سماد نترات البوتاسيوم KNO_3

يحتوي هذا السماد على 13.8% نايتروجين و 36.5% بوتاسيوم اي 44% اوكسيد البوتاسيوم (K_2O) . وقد تكتب الصيغة الآتية : 13.8:0:44 للتعبير عن محتوى هذا السماد من النايتروجين والبوتاسيوم إذ يمثل الرقم الاول من اليسار محتوى السماد من النايتروجين ثم يليه محتوى الفسفور بهيئة (P_2O_5) ثم يليه محتوى السماد من البوتاسيوم بهيئة اوكسيد البوتاسيوم .

يجهز هذا السماد النبات بعنصري البوتاسيوم والنايتروجين . وهو سماد رخيص الثمن وقد تزايد الطلب عليه في الآونة الأخيرة باعتباره من الأسمدة المفضلة للحدائق .

يحضر هذا السماد من تفاعل نترات الصوديوم مع كلوريد البوتاسيوم

$$NaNO_3 + KCl \longrightarrow KNO_3 + NaCl$$

جـ ـ سماد نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$

يحتوي هذا السماد على 15.5% نايتروجين و 19.5% كالسيوم إذ يحضر من اكسدة الامونيا المحضرة بطريقة هابر ـ بوش وبوجود عامل مساعد ثم يبرد فيتكون حامض النتريك الذي يعامل بحجر الكلس ـ كاربونات الكالسيوم مكوناً نترات الكالسيوم

$$2HNO_3 + CaCO_3 \longrightarrow Ca(NO_3)_2 + H_2O + CO_2$$

يركز المحلول ويبلور ويضاف اليه محلول امونيوم لرفع نسبة النايتروجين لتقليل رجة التميع . وقد يستبدل محلول الامونيوم بنترات الامونيوم بغية الحصول على نسبة نايتروجين اعلى مما كانت عليه بنسبة 5% وبذلك يكون سماداً خاصاً رمزه الكيميـــــاوي $5Ca(NO_3)_2, NH_4NO_3, 10H_2O$ وهو يختلـــــف عن الرمز الكيمياوي لسماد نترات الكالسيوم . ويجب مراعاة عدم تعرض هذا السماد للهواء الا عند الاستعمال بسبب قابليته الشديدة في التميع . ويفضل اضافة هذا السماد الى الترب الحامضية بسبب احتوائه على نسبة عالية من الكالسيوم . وتنتج وتستهلك اوربا كمية كبيرة منه .

د ـ سماد نترات البوتاسيوم ـ الصوديوم

يحتوي هذا السماد على 15% نايتروجين و 10% بوتاسيوم و 20% صوديوم وهو سماد قليل الاستعمال .

ثالثاً : الاسمدة التي تحتوي على الصورتين صورة الامونيوم وصورة النترات :

إن هذه الاسمدة تجهز الوسط بالصورتين (الامونيوم والنترات) وهي أسمدة ذائبة بالماء . واهمها الآتي :

أ ـ سماد نترات الامونيوم NH_4NO_3

يحتوي هذا السماد على 32-35% نايتروجين وهو سماد يصعب تداوله باليد بسبب كونه سمادا خطرا جدا لذا حاول البعض أن يقلل من خطورته وذلك بخلطه مع الكلس ليصبح اكثر سلامة . ومن خلال خبرة المزارع الاوربي وتجنبا للخطورة فإنه إعتاد خلطه مباشرة بعد الشراء مع الكلس وبذلك يتحقق أمران . أولهما التقليل من تأثير حموضة السماد وثانيهما تجنب الانفجار .

يحضر هذا السماد من تفاعل حامض النتريك مع الامونيا

$$HNO_3 + NH_3 \longrightarrow NH_4NO_3$$

يعبأ هذا السماد باكياس خاصة لا تسمح بنفاذ الرطوبة . ويجب التعامل مع هذا السماد بحذر ولا يفضل اضافة هذا السماد مع السماد العضوي تجنبا للتفاعل المباشر الذي يؤدي الى الانفجار القوي جدا . لذا ينصح ايضا بأبعاد بقايا المحاصيل من مخازن هذا السماد مع وضع احتياط كاف للاسلاك الكهربائية أو العوامل المشجعة للتسخين وبالأخص في المناطق التي يكون فيها الفلاح لا يمتلك الوعي الكافي .

ب ـ سماد نترات الامونيوم مع الكلس

يحتوي هذا السماد على 20.5% نايتروجين و 0.6% كبريت و 10% اوكسيد الكالسيوم (CaO) وهو عبارة عن سماد نترات الامونيوم المغلف بالدولومايت Dolomite وبذلك تساعد التركيبة الجديدة على معالجة الحموضة الناتجة من عملية النترجة ومن هذا يمكن نقله باليد ويمتاز هذا السماد بحبه الشديد للماء .

رابعاً : الاسمدة التي تحتوي على النايتروجين بصورة أمايد Amides

أ ـ اليوريا $(NH_2)_2CO$

ويطلق عليها Carbamide ، تحتوي اليوريا urea على 46% نايتروجين وهو سماد عالي الذوبان بالماء وشديد التمييع لخاضيته العالية لحب الماء .

يحضر هذا السماد من معاملة الامونيا مع غاز ثاني اوكسيد الكاربون مما يشير الى رخص تكاليف صناعته .

$$2NH_3 + CO_2 \longrightarrow (NH_2)_2CO + H_2O$$

ويحتوي سماد اليوريا على 1.5-2% مادة بيوريت Biuret وهي مادة سامة للنبات . يباع سماد اليوريا في صورة خبيبات بيضاء ويستعمل بكثرة في العراق .

ب ـ سماد سيانامايد الكالسيوم $CaCN_2$

يحتوي هذا السماد على 21-22% نايتروجين وهو سماد أخضر اللون كثير الشوائب يتحول بعد إذابته بالماء الى يوريا

$$CaCN_2 + H_2O \longrightarrow \underset{\text{مادة سيانامايد}}{H_2N\text{-}C \equiv N} + Ca(OH)_2$$

$$H_2N\text{-}C \equiv N + 2H_2O \longrightarrow \underset{\text{يوريا}}{H_2N\text{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}\text{-}NH_2}$$

ثم تتحلل اليوريا في التربة محررةً ايون الامونيوم وثاني اوكسيد الكاربون وماء . ويفضل اضافة سماد سيانامايد الكالسيوم غالباً الى الترب الحامضية وذلك لانه يؤدي الى رفع pH التربة بسبب تكوين هايدروكسيد الكالسيوم . ويحتاج هذا السماد اثناء تحلله الى كمية عالية من الماء .

يحضر هذا السماد من تفاعل اوكسيد الكالسيوم مع الكاربون.

$$CaO + 3C \longrightarrow CaC_2 + CO$$

وبعد امرار غاز النايتروجين على نواتج التفاعل يتكون :

$$CaC_2 + N_2 \longrightarrow CaCN_2 + C$$

وبسبب خطورة هذا السماد على النبات النامي يفضل تجنب إضافته بالقرب منه ولهذا السبب قل استعماله في الآونة الاخيرة .

جـ ـ سماد اليوريا المغطاة بالكبريت Sulpher Coated urea

يحتوي هذا السماد على 40% نايتروجين و 10% كبريت . ويحتاج هذا السماد الى بكتريا تؤكسد الكبريت لازالة التغليف لتبدأ اليوريا بالتحلل . إن عملية اكسدة الكبريت تساهم بشكل دقيق في تثقيب الغلاف الكبريتي مما يساعد على خروج اليوريا وتحللها .

د ـ سماد فوسفات ـ يوريا Phosphate-urea

يحتوي هذا السماد على 17.7% نايتروجين و 19.6% فسفور أي مايعادل 44.9% خامس اوكسيد الفوسفوريك (P_2O_5) . يحضر هذا السماد من خلط اليوريا مع حامض الفوسفوريك

$$CO(NH_2)_2 + H_3PO_4 \longrightarrow CO(NH_2)_2.H_3PO_4$$

هـ ـ سماد اليوريا ـ فورمالديهايد Urea-Formaldehyde

تختلف قدرة هذا السماد على الاذابة بالماء على نسبة اليوريا الى نسبة الفورمالديهايد . ويحضر هذا السماد من تفاعل اليوريا مع الفورمالديهايد وهو يحتوي على نسبة لا تقل عن 40% نايتروجين . ويمتاز هذا المحتوى النايتروجيني بالانطلاق البطيء ليتحرر بصورة جاهزة . وقد يضاف هذا السماد مباشرة الى المحاصيل الزراعية أو قد يخلط مع اضافات محددة من اسمدة نايتروجينية أخرى .

خامساً : مجموعة الأسمدة السائلة

أ ـ الامونيا غير المائية **Anhydrous ammonia**

يحتوي هذا السماد على 82% نايتروجين ويمتاز بهيئة غازية في الظروف الاعتيادية ويتحول بمجرد امرار الماء الى حالة سائلة (محلول نايتروجيني) ويضاف هذا السماد تحت سطح التربة غالباً لتقليل فقد النايتروجين منه ، كما إنه يضاف الى الحشائش على عمق 10-15سم والى المحاصيل الاخرى على عمق 15سم وينطوي استخدام هذا السماد على مخاطر كبيرة .

ب ـ الامونيا المائية **Aqueous ammonia**

يحتوي هذا السماد على 21-29% نايتروجين وهو سماد ذائب بالماء في الظروف الطبيعية من حرارة وضغط وهو سهل النقل ويضاف الى الترب الحامضية غالباً . وتختلف ميكانيكية استخدامه بأتحاد الهايدروجين المنطلق من الجاميع الكاربوكسيلية (COOH-) ، أو الجاميع الفينولية (OH-) أو مجاميع الهايدوكسيل (OH)- ويكون بذلك ايون الامونيوم الذي يمتصه النبات .

جـ ـ محاليل نايتروجينية

يحضر خليط من نترات الامونيوم واليوريا والامونيا تحت ضغط فيكون بذلك محلولاً نايتروجينياً . يحتوي هذا الخليط على 30-40٪ نايتروجين ويمتاز بأنه سهل الاستعمال ويضاف مباشرة الى النبات واحيانا يضاف اليه نترات الصوديوم او الكالسيوم . وهنالك انواع عديدة تدخل في تكوين المحاليل النايتروجينية المختلفة .

تفاعلات الأسمدة النايتروجينية

سوف نتناول عدداً محدوداً من الاسمدة النايتروجينية في دراستنا ومناقشتنا لمسيرة تفاعلات هذه الاسمدة . وسنحاول التركيز على الاسمدة الشائعة الاستعمال وما تتعرض له بعد اضافتها للترب المختلفة الخصائص .

اولاً : تفاعلات سماد اليوريا

يعتبر سماد اليوريا من الاسمدة النايتروجينية العضوية الشائعة الاستعمال التي تحتاج الى إنزيم خاص كعامل مساعد لتحللها لجعل محتواه النايتروجيني جاهزا للنبات . ويستعمل هذا السماد بكفاءة في مختلف مناطق العراق الجغرافية . لذا سنحاول دراسة مسيرة تفاعلاته بصورة عامة .

يحتاج سماد اليوريا الى وجود انزيم اليوريز Urease لكي يساهم في عملية تحلله .

$$(NH_2)_2CO + H_2O \xrightarrow[\text{اليوريز}]{\text{انزيم}} (NH_4)_2CO_3$$

كاربونات الامونيوم

وتعتبر كاربونات الامونيوم مركباً قلقاً سريع التحلل محرراً امونيا وثاني اوكسيد الكاربون وماءً

$$(NH_4)_2\ CO_3 \longrightarrow 2NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

وغالباً ماتذوب الامونيا بالماء لتكون قاعدة وتحرر ايونات الهايدروكسيل :

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

المحتوى العالي لهذه الترب من الكلس وهذا ماأكدته العديد من الابحاث (Husseini et al 1973; Al-Ani, 1973) ولهذا يمكن القول ان سماد اليوريا قاعدي التفاعل إن لم تتوفر الظروف الخاصة بعملية النترجة وحامضي التفاعل إن توفرت . .

ولايمكن اعتبار مشاركة انزيم اليوريز كعامل معرقل لتحلل سماد اليوريا بل إن انتشاره الواسع في الطبيعة سهل ذلك . لقد حاول بعض الباحثين امثال (Moe. 1967) إضافة انزيم اليوريز الى الترب فلاحظ زيادة في سرعة عملية تحلل اليوريا وتطاير الامونيا كما لاحظ ايضاً زيادة في سرعة عملية النترجة . كما حاول عدد آخر من الباحثين ايجاد طرق عملية للسيطرة على التحلل السريع لليوريا في الترب ، فقد عالج كل من (Nelson & Hauck, 1965, Parr, 1979) هذه المشكلة بتغيلف حبيبات سماد اليوريا بغلاف او غشاء مقاوم للرطوبة أو بتغليفها بالكبريت كما اتجه البعض الآخر لايجاد مركبات تعمل تثبيط فعالية انزيم اليوريز فقد استعمل (Moe, 1967) مركب P-chloromet curibonzoate كمثبط لليوريز ، وبالرغم من إن هذه المادة ادت الى التقليل من تحلل اليوريا وتطاير الامونيا لكنها ثبطت عملية النترجة كلياً . إن جميع هذه الاتجاهات اعطت نتائج جيدة في التقليل من تحلل اليوريا وفقد الامونيا ولكن من المآخذ على هذه الطرق كونها تؤدي الى زيادة كلفة سماد اليوريا أو قد تسبب تأثيرات سلبية على النترجة او على النباتات .

ولكن سرعان مايتحول ايون الامونيوم من خلال عملية النترجة مكوناً ايون النترات وقد يرافق هذه العملية انخفاض في pH التربة ويمكن القول بإن إنخفاض pH الترب المضاف اليها سماد اليوريا دليل على تكوين النترات أو النتريت . وقد يعتمد تأثير حموضة سماد اليوريا على pH التربة وفقاً للقدرة التنظيمية للتربة ، لذا فإن pH للترب العراقية ليس من السهل خفضه بسبب

$$NH_4^+ + 1/2\ O_2 \rightleftharpoons 2H^+ + NO_2^- + H_2O + energy$$

طاقة

$$2H + NO_2^- + 1/2\ O_2 \longrightarrow 2H^+ + NO_3^- + energy$$

طاقة

لقد اشار بعض الباحثين الى إنه من الممكن التقليل من مشاكل استعمال اليوريا كسماد وذلك بأستعمال مشتقات اليوريا الحامضية مثل نترات اليوريا **Urea nitrate** وفوسفات اليوريا **Urea phosphate** وكذلك درسوا كفاءة هذه الاسمدة في تجارب حقلية مختلفة فأشارت النتائج الى الكفاءة العالية لسماد فوسفات اليوريا كما لاحظ البعض أنَّ حامض الفوسفوريك المتحرر من هذا السماد يعمل على تقليل التحلل الانزيمي لليوريا بواسطة انزيم اليوريز ، وبذلك يقلل من فقد الامونيا أيضاً .

ومن اهم الاعتراضات ضد استعمال اليوريا كسماد هي :

١ ـ يحتوي سماد اليوريا على مادة البيوريت Biuret التي تتكون نتيجة اتحاد جزيئتين من اليوريا عند ارتفاع درجة حرارة التصنيع الى اعلى من الحدود الاعتيادية

$$NH \langle \begin{matrix} CONH_2 \\ CONH_2 \end{matrix}$$

التركيب الكيمياوي للبيوريت

وهذه المادة سامة جداً للنبات ، ويزداد تأثيرها مع ارتفاع محتواها في السماد . كما تشير نتائج جدول (13) الى تأثيرها على انتاجية محصول الحنطة (**Brage et al** 1960). ويجدر التوضيح هنا بأنه غالباً ماتحتوي اليوريا المحضرة صناعياً على كمية تقل عن 1.5-2% .

جدول (13) تأثير محتوى سماد اليوريا من البيوريت Biuret Content على نمو محصول الحنطة الشتوية .

السماد	نسبة البيوريت %	نسبة النمو بالمقارنة مع المعاملة القياسية مع معدل اضافة النايتروجين 10	20	40
نترات الامونيوم	–	95.6	101.3	88.0
نترات الامونيوم	2.5	94.2	81.9	83.5
يوريا	2.5	80.4	62.3	26.7
يوريا	5.0	60.7	42.0	19.9
يوريا	10.0	41.5	28.3	9.1

2- تركيز الامونيا

يرافق عملية تحلل اليوريا انطلاق غاز الامونيا . وإن معدل تكوين الأمونيا اكبر من سرعة اكسدتها الى نترات أو نتريت مما يؤدي الى تراكم الامونيا التي تسبب ضرراً كبيراً على النباتات المزروعة . لذا ينصح بعدم اضافة سماد اليوريا بالقرب من البذور أو جذور النباتات . ولتجنب هذه الحالة يفضل إضافة السماد الى المكان المناسب والبعيد نسبياً أو قبل الزراعة بفترة وجيزة .

3- امتصاص جزيء اليوريا بواسطة جذور النباتات

لقد اشار Court **et al** 1962 الى أن امتصاص النبات لكمية تصل الى 3% يوريا تؤدي الى تسمم النباتات النامية ويتم ذلك غالباً عندما تبقى اليوريا فترة طويلة دون تحلل ولكن احتمالية حدوث هذا الامر قليل جدا لقدرة اليوريا العالية على التمييع .

لقد اشارت نتائج أبحاث متعددة الى اضرار اخرى لليوريا ، لا نتطرق اليها تجنباً للأسهاب في هذا الموضوع وسنحاول مناقشتها في مكان آخر .

ثانياً ـ تفاعلات الاسمدة النايتروجينية الحاوية على صورة الامونيوم

تتعرض معظم الاسمدة النايتروجينية وبالأخص الحاوية على صورة الامونيوم المضافة الى الترب الكلسية الى تفاعلات خاصة تؤدي الى فقد النايتروجين بهيئة غاز امونيا . وبالنظر لأهمية صورة الامونيوم للنبات حاول الكثير من الباحثين دراسة هذه الظاهرة ومحاولة الحد منها وتقليل فقدان الامونيا ومن هؤلاء (Fenn & Kissel 1973) الذين درسوا الظاهرة ووضعوا افتراضات عامة للتفاعل تفسيرها المعادلة الآتية :

$$X\,(NH_4)\,Y + N\,CaCO_3(s) \longrightarrow N\,(NH_4)_2CO_3 + CanY_x$$

إذ Y تمثل الايون السالب المرافق للامونيوم N, X ترتبط بتكافؤ الانيونات والكايتونات . إن ناتج التفاعل كاربونات الامونيوم $(NH_4)_2CO_3$ يمتاز بكونه مركباً غير ثابت metastable يتحلل بسرعة الى نواتج اخرى

$$(NH_4)_2\,CO_3 + H_2O \longrightarrow 2NH_3 + H_2O + CO_2$$

$$\Updownarrow$$

$$2NH_4OH$$

وتعتمد كمية كاربونات الامونيوم الناتجة على حاصل اذابة ناتج التفاعل الثاني Cay . ولقد سبق أن أوضحنا ذلك بالاضافة لما ذكر من عوامل مؤثرة على ميكانيكية هذا التفاعل .

طريقة وموعد إضافة الأسمدة النايتروجينية

تضاف الاسمدة النايتروجينية للتربة مباشرة وبطرق متعددة وفقاً لطبيعة السماد والظروف المحيطة به وخصائص التربة . ومن الطرق الشائعة خلط السماد مع الطبقة السطحية من التربة أو قد ينثر السماد broadcasting على السطح اما قبل أو بعد الري . ويمكن إضافة الاسمدة النايتروجينية مع ماء الري (اذابة) أو بهيئة التلقيم banding بالقرب من النبات . وقد اشارت بعض الابحاث الى الكفاءة الجيدة في اضافة الاسمدة النايتروجينية بالرش foliar . إن أختيار الطريقة المناسبة يتطلب تحديد نوع السماد المطلوب إضافته وخصائصه الكيمياوية والفيزياوية بالاضافة الى خصائص التربة والقدرة الفنية المتوفرة لتنفيذ طريقة الاضافة . وتعزز الطريقة المناسبة زيادة كفاءة الاسمدة من خلال تقليل حالة التدهور والفقد وتوفير الظروف الملائمة لسيادة الصور النايتروجينية المطلوبة في تغذية النبات . ويجب أن تخلق الموازنة الدقيقة لتوفير النايتروجين وبصورة المطلوبة في منطقة انتشار المجموع الجذري .

إن اضافة الأسمدة النايتروجينية يفضل غالباً قبل موعد الزراعة بفترة قصيرة وينطلق هذا من اهمية توفر هذا العنصر منذ بداية موسم النمو لمساهمته في بناء خلايا النبات وأنسجته . بالاضافة الى تجنب البذور والبادرات الصغيرة التركيز العالي من الامونيا أو بعض نواتج عملية النترجة الضارة . وقد تضاف الكمية الكلية من الاسمدة النايتروجينية المطلوب إضافتها بدفعتين ، الاولى قبل أو اثناء موعد الزراعة والثانية يحددها نوع السماد وطول موسم النمو ولكنها غالباً ماتضاف بعد فترة لاتزيد عن شهر على موعد الزراعة . وقد اتجهت عدة دراسات الى تحديد المواعيد المناسبة لاضافة الدفعة السمادية وكميتها وعددها للمحاصيل الزراعية المختلفة النامية في ترب مختلفة الخصائص .

إن طريقة إضافة الاسمدة النايتروجينية وموعدها لا تحدد الكمية المضافة بل إن الأخيرة تعتمد على محتوى التربة من النايتروجين الجاهز أو الكلي (كتعبير عن الكمية الجاهزة) ونوع المحصول وطول موسم النمو والظروف البيئية المحيطة وخصائص التربة والسماد . وبصورة عامة تتراوح الكمية المضافة من الاسمدة النايتروجينية بين 20-200 كغم / هكتار سنوياً .

قائمة المصادر

1- Allison, F.E. (1955) Ad. Agron. 7: 213-250.

2- Allison, F.E. (1966) Ad. Agron. 18: 219-258.

3- Allison, F.E.; Sherman, M.S. and Pinck, L.A. (1953) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17: 107-258.

4- Ansari, A. and Bowling, L. (1972) New Phytol. 71: 111-117.

5- Beck, T. (1983) Z. Pflanzenern. Bodenk. 146: 243-252.

6- Bingham, F.T., Chapman, H.D. and Pugh, A.L. (1954) Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18: 305-308.

7- Black, C.A. (1968) "Soil-Plant Relationship" 2nd ed. New York.

8- Black, A.S. and Waring, S.A. (1972) Aust. J. Soil Res. 10: 197-207.

9- Brage, **et al.** (1960) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 199-203.

10- Bremner, J.M. (1967) Nitrogenous compounds P. 19-66. In Soil Biochemistry Inc., New York.

11- Bremner, J.M. and Shaw, K. (1958) J. Agric. Sci. 44: 152-159.

12- Broadbent, F.E. and Carlton, C.A.B. (1978) In "nitrogen in the enviromment" vol. 1. Acadmic Press.

13- ——— and ——— (1979) Methodology for field triats with N^{15} depleted.

14- Burge, W.D. (1960) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 292.

15- Burge, W.D. and Broadbent, F.E. (1961) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 199-204.

16- Cameron, D.R.; Kowalenko, C.G. and Campbell, C.A. (1978) Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 455-457.

17- Chao, T.T. and Kroontje, W. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 393-395.

18- Chatt, J. (1976) Nitrogen fixation. Future Prospects Proceedings No. 155 fertilizer Soc. of London.

19- Clarkson, D.T. and Warner, A.J. (1979) Plantphysiol. 64: 557-561.

20- Court, M.N.; Stephen, R.C. and Waild, J.S. (1962) Nature 194: 1263-1265.

21- Delwiche, C.C. (1970) The Biosphere-Scientific Amer., P. 71-80. Inc. W.H. Freeman, San Franscisco.

22- Dijkshoorn, W. (1962) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. Soil Sci. Soc. Am. USA.

23- Dommergues, Y. (1977) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. Soil Sci. Soc. Am. USA.

24- Duisberg, P.C. and Buehrer, T.F. (1954) Soil Sci. 78: 37-49.

25- Du Plessis, M.C.F. and Kroontje, W. (1974) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 751-754.

26- Enzmann, A. (1983) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. Soil Sci. Soc. Am. USA.

27- Ernst, J.W. and Massey, H.F. (1960) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 87-92.

28- Fenn, L.B. and Escarzago, R. (1976) Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 537-541.

29- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1973) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 855-859.

30- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1974) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 606-610.

31- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1976) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 40: 394-398.

32- Firestone, M.K. (1982) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. Soil Sci. Soc. Am. USA.

33- Focht, D.D. (1978) In nitrogen in the Environment P. 433-490.

34- Fried, M.; Tonji, K.K. and van De Pol, R.M. (1976) J. Environ. Qual. 5: 197-200.

35- Gandhi A.P. and Paliwal, (1976) Plant Soil 45: 247-255.

36- Gasser, J.K.R. (1964) J. Soil Sci. 15: 258-272.

37- Gayan, A. and Dupetit, L. (1886) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Sterenson, 1982 Soil Sci. Soc. Am. USA.

38- Hargrove, W.L., Kissel, D.E. and Fenn, L.B. (1977) Agron. J. 69: 473-476.

39- Hasegawa, G.; Nishikawa, K.I.; Kogsaki, M. and Suzuki, S. (1962) Rpts. Hyogo Uni. Agr. Ser. Agr. 5. 2: 74-76.

40- Hauck, R.D. (1971) In "nitrogen-15 in Soil-plant Studies p. 65-80 vienna.

41- Heilman, P. (1975) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 778-782.

42- Hofman, T. and Lees, H. (1953) Biochem. J. 54: 579-583.

43- IPI (1970) In "9th Congress. September 1970.

44- Jansson, S.L. (1958) Ann. Roy. Agric. Coll. Sweden.

45- Jenny, H. (1930) Missouri Agri. Exp. Sta. Res. Bul. 152.

46- Jenny, H. (1941) Factors of Soil formation, McGrav-Hill Boot Co., New York.

47- Kirkby, E.A. and Hughes, A.D. (1970) In "nitrogen Nutrition of the Plant, Univ. of Leeds.

48- Kowalenko, C.G. and Cameron, D.R. (1968) Can. J. Soil Sci. 58: 195-208.

49- Kowalenko, C.G. and Cameron, D.R. (1977) Can. J. Soil Sci. 58: 195-205.

50- Lawes, J.B., Gilbert, J.H. and Warington, R. (1882) J.R. Agric. Soc. Engl. Ser. 2, 19: 249-179.

51- Martin, J.P. and Chapman, H.D. (1951) Soil Sci 71: 25-34.

52- Meisinger, J.J. (1976) Search Agric. 6: 1-18.

53- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principle of plant Nutrition. Intr: Potash Inst. Bern.

54- Meyer, R.D.; Olson, R.A. and Rhoades, H.F. (1961) Agron. J. 53: 241-244.

55- Michael, G., Schumacher, H. and Marschner, H. (1965) Z. Pflanzenernahr. Dung. Bodenk. 110: 225-238.

56- Mikkelsen, D.S.; De Detta, S.K. and Obeemea, W.N. (1978) Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 725-730.

57- Mills, H.A.; Barker, A.V. and Maynard, D.N. (1974) Agron. J.

58- Moe, P.G. (1967) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 380-384.

59- Munk, H. (1958) Landw. Forsch. 11: 150-156.

60- Myers, R.J.K. (1975) Biochem. 7: 83-88.

61- Nelson, L.B. and Hauck, R.D. (1965) Agric. Sci. Rev. USDA 3: 38-47.

62- Neyra, C.A. and Dobereiner, J. (1977) adv. Agron. 29: 1-38.

63- Nommik, H. (1957) Acta Agric. Scand. 7: 395-436.

64- Nommik, H. (1965) Agron. 10: 198-258.

65- Nommik, H. (1966) Acta. Agric. Scand. 16: 163-178.

66- Overrein, L.N. and Moe, P.G. (1967) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 57.

67- Page, M.B. and Talibudeen, O. (1977) Plant and Soil 47: 527-540.

68- Pratt, P.F., Jones, W.W: & Hunsaken, V.E. (1972) Qual. 1: 97-102.

69- Rao, K.P. and Rains, D.W. (1976) Nintrate absorption by barley Plant Physiol. 57: 55-58.

70- Russell, E.W. (1973) Conditions & Plant growth, 10th ed. Longman.

71- Scherer, H.W. and Mengel, K. (1979) Landw. Forsch. 32: 416-424.

72- Schwertmann, A. (1966) Z. Pflanzenern. Dungung Bodenk. 115: 200-209.

73- Simpson, D.M. and Milsled, S.W. (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 48.

74- Stanford, G. and Pierrer, W.H. (1947) Soil Sci. Soc. Am.. Proc. 11: 155-160.

75- Stevenson, F.J. (1980) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. Soil Sci. Soc. Am.

76- Stevenson, (1982) Nitrogen in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am. USA.

77- Valera, C.L. and Alexander, M. (1961) Plant and Soil. 15: 268-280.

78- Ventura, W.B. and Yoshida, T. (1977) Plant & Soil 46: 521-531.

79- Viets, F.G.; Nelson, Jr. C.E. and Crawford, C.L. (1954) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18: 297-301.

80- Vlek, P.L.G. and Stumpe, J.M. (1978) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 42: 416-421.

81- Volk, G.M. (1959) Agron. J. 51: 746-749.

82- Vomel, A. (1965/1966) Z. Acker-U. Rlanzenbau 123: 155-188.

83- Wahhab, A., Randhawo, M.S. and Alam. S.Q. (1957) Soil Sci. 84: 249-255.

84- Walker, A.C., Hac, L.R., Ulrich, A. & Hills, F.S. (1950) Proc. Am. Soc. Sugar Beet. 6: 362.

85- Wallace, A. and Muller, R.T. (1957) Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 69: 183-188.

86- Weissman, G.S. (1950) Plant. Physioli. 57: 339-343.

87- Wijler, J., and Delwiche, C.C. (1954) Plant Soil 5: 155.

88- Young J.L. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 339-345.

الفصل الثالث

الفسفور Phosphorus

يعتبر عنصر الفسفور من العناصر الغذائية الرئيسية macronutrients . ويمتص النبات هذا العنصر لسد احتياجات مختلف العمليات الحيوية مثل عملية التركيب الضوئي وتكوين النوايا وأنقسام الخلايا وتكوين البذور وتنظيم العمليات الخلوية ونقل الصفات الوراثية . كما إن لهذا العنصر دورا رئيسيا في تكوين المركبات الغنية بالطاقة . ويوجد الفسفور في الأنسجة المرستمية وينتقل بسهولة داخل النبات لذا فإنه يتحرك من الانسجة القديمة الى الانسجة الحديثة في حالة النقص في كمية الفسفور الجاهز للنبات . وعلى الرغم مما تقدم فإن محتوى أي نبات من الفسفور هو أقل من محتواه من النايتروجين والبوتاسيوم والكالسيوم . وسنحاول في هذا الفصل دراسة عنصر الفسفور من ناحية صوره ومصادره والعوامل المؤثرة على جاهزيته .

محتوى التربة من الفسفور والعوامل المؤثرة عليه

إن محتوى الترب من الفسفور الكلي total phosphorus قليل جدا كما تشير الى ذلك معظم المراجع العلمية . ويمكن القول ايضا بأن هذا المحتوى يتأثر بعوامل عديدة مثل محتوى التربة من المادة العضوية وخصائص مادة الاصل Parent material ودرجة التجويه degree of weathering لذا فإنه يختلف بمدى واسع من تربة الى أخرى وفقا لتأثير تلك العوامل . فقد وجد Conybeare و Lipman عام 1939 أن معدل محتوى الطبقة السطحية (15)سم لمعظم الترب الامريكية المزروعة لا يتجاوز 0.06% فسفور . كما أشار (Metson, 1961) الى إن محتوى الترب من الفسفور الكلي لا يتجاوز 0.2% . وفي دراسة المقارنة وجد (Goldschmidt, 1954) أن الترب المشتقة من صخور قاعدية تكون اغنى من

الترب الرسوبية والترب المشتقة من صخور حامضية في محتواها الكلي من الفسفور غالباً . واوضح (Thompson, 1957) بأن محتوى الفسفور الكلي في ترب المناطق الجافة يتراوح بحدود 0.15% . كما توصل (Bates and Baker, 1960) الى ان محتوى الترب الرملية والطينية بمعدل 0.02% و 0.17% على التوالي في الطبقة السطحية (5)سم وان قيم الفسفور في الطبقة تحت السطحية (51-76)سم كان 0.02% و 0.03% على التوالي . وهذه النتائج تتفق مع (Kaila, 1963) الذي اشار الى أنَّ الطبقة السطحية للتربة تكون عادة غنية في محتواها من الفسفور الكلي مقارنة بالطبقة تحت السطحية واشار ايضاً الى أنَّ قيم الفسفور الكلي في الترب الرملية والترب الناعمة الطينية والترب المزيجية والترب الغرينية كانت 820 و 890 و 850 و 1050 جزءاً بالمليون . كما أوضح (Walker & Brown, 1966) أنَّ محتوى الفسفور الكلي في التربة يتناسب طردياً مع دقائق الجزء الناعم وايد ذلك (Amer, 1969) في دراسته على مجموعة من عينات مختلفة القوام ، إذ وجد أنَّ الفسفور الكلي في الترب الرملية يتراوح بحدود 100 الى 760 جزءاً بالمليون ، وفي الترب الكلسية calcareous soils يتراوح بين 280 و 1400 جزء بالمليون . أما في الترب الطينية والمزيجية بحدود 780 الى 1400 جزء في الطبقات السطحية . واكد (Thakur et al. 1976) في دراسته على الترب الرسوبية أن ارتفاع محتوى الفسفور الكلي يرجع الى ارتفاع نسبة الطين والمادة العضوية بهذه الترب .

أمّا الدراسات على الترب العراقية فقد وجد (Abdul-Latif, 1975) ان قيم الفسفور الكلي لخمس عينات من اماكن متفرقة من القطر تراوحت بين 580 الى 855 جزء بالمليون . أما الباحثان (Nouri and Khalili, 1976) فقد اشارا الى أنَّ قيم الفسفور الكلي في عينات اخذت من سهل الرافدين ومنطقة التلول Foot-Hills ومنطقة الجزيرة هي 106-563 ، 378-453 و 273-666 على التوالي وهنالك عينات قد وصل فيها محتوى الفسفور الكلي الى حدود 400-1256 جزء بالمليون . كما وجد (عثمان ، 1981) في دراسته على بعض ترب شمال العراق أنَّ محتواها من الفسفور الكلي يتراوح من متوسط الى غني وتراوحت كمياته بين 366.6 و 720.5 جزء بالمليون وبمعدل قدره 572.39 جزء بالمليون ووجد الباحث ايضاً أنَّ هنالك علاقة معنوية بين قيم الفسفور الكلي ونسبة الطين والمادة العضوية . وعند دراستنا لمحتوى نماذج ترابية اخذت من مواقع زراعية متفرقة في محافظة البصرة (Awad, 1982) وجد أنَّ معدل قيم الفسفور الكلي في عينات حقول منطقة الزبير وسفوان الرملية كان 217 جزءاً بالمليون بينما كان معدل عينات حقول أبي الخصيب 650 جزءاً بالمليون .

صور الفسفور في التربة Forms of Soil Phosphorus

يمكن تقسيم صور الفسفور في التربة وبشكل عام الى :
أ ـ الفسفور المعدني inorganic phosphates
ب ـ الفسفور العضوي organic phosphates
ومن خلال هذا التقسيم سنحاول التعرف على صور الفسفور في التربة ، وسنبدأ اولاً بالصور المعدنية .

أ ـ صور الفسفور المعدني

يوجد الفسفور بالتربة بصور مختلفة معدنية يمكن تصنيفها على اساس خواصها الفيزياوية والكيمياوية والمعدنية mineralogical . وبشكل عام فإن الفسفور بالتربة يوجد على هيئة مركبات تحتوي على الكالسيوم او الالمنيوم او الحديد أو الفلور او عناصر أخرى . ولخصائص التربة الفيزياوية والكيمياوية دور كبير في تحديد سيادة هذه المركبات في الترب المختلفة .

إن جميع هذه المركبات قليلة الذوبان بالماء لذا فإن جاهزيتها للنبات محدودة جداً او قد تكون معدومة . وبشكل معدن الأبتايت Apatites الجزء الأكبر من صور الفسفور في الترب المعدنية . وهنالك اربعة انواع من الأبتايت وهي :

(1) هايدروكسي ابتايت Hydroxyapatite $Ca_{0}(PO_4)_6(OH)_2$
(2) فلور أبتايت Fluorapatite $Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$
(3) كلورو ابتايت Chlor apatite $Ca_{10}(PO_4)_6(Cl)_2$
(4) كاربونت ابتايت Carbonate apatite $Ca_{10}(PO_6)(CO_3)$

وقد اشارت معظم الدراسات الى أن اكثر هذه الانواع شيوعاً هو معدن الهايدروكسي إبتايت ومعدن الفلورو إبتايت .

إن الفسفور الذائب في محلول التربة يمتز في الترب الكلسية على سطح كاربونات الكالسيوم او يتفاعل مع ايون الكالسيوم مكوناً مركبات فوسفات الكالسيوم Calcium phosphates compounds . أما في الترب الحامضية فإن الفسفور يمدص على أسطح أكاسيد الحديد والالمنيوم او يترسب على هيئة مركبات فوسفات الحديد أو الالمينوم Iron and aluminium phosphates compounds . وسنحاول لاحقاً شرح ميكانيكية تكوين هذه المركبات . ولكن مايهمنا ذكره الآن هو تحديد نوعية المركبات السائدة في ظل ظروف الترب الكلسية والحامضية . ولا يمكن النظر الى مركبات فوسفات الكالسيوم او فوسفات الحديد أو الالمنيوم على

إنها مركبات مستقرة بل إنها تتأثر بخواص التربة والوقت والظروف الأخرى المحيطة ومما يؤكد ذلك تعدد صور المركبات الفوسفاتية وخصائصها المنتشرة في الترب . ويوضح الجدول (1) بعض المركبات الفوسفاتية الشائعة الأنتشار في الترب .

جدول (1) المركبات الفوسفاتية الشائعة الانتشار في الترب (استل من Mengel and Kirkby 1982) .

المركب		رمزه
هايدروكسي ابتايت	Hydroxy apatite	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$
فلورو ابتايت	Fluor apatite	$Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$
فوسفات ثنائي الكالسيوم	Dicalcium phosphate	$CaHPO_4$
فوسفات ثلاثي الكالسيوم	Tricalcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$
الفرسكايت	Variscite	$AlH_2PO_4(OH)_2$
السترنكايت	Strengite	$FeH_2PO_4(OH)_2$

ب ـ صور الفسفور العضوي

يختلف محتوى الترب من الفسفور العضوي إختلافاً شاسعاً إذ يشكل مابين اقل من 20% الى 80% من الفسفور الكلي بالطبقة السطحية. فقد وجد (Sen Gupta and Corfield, 1962) أنَّ الفسفور العضوي يكون حوالي (14.5%) كمعدل في الترب الكلسية ، وذكر (Kaila, 1963) أنَّ قيم الفسفور العضوي في الطبقات السطحية المزروعة تتراوح مابين 100-940 جزءاً بالمليون ، بينما وجد (Brogowiski, 1966) أنَّ محتوى الفسفور العضوي الموجود في الطبقات الدبالية يمثل (33.4%) من قيم الفسفور الكلي . وبين (Greb and Olsen, 1967) أنَّ الفسفور العضوي بشكل (8-40%) من الفسفور الكلي في الترب الكلسية .

لقد وجد (Amer and Aboul Rooa, 1975) في دراساتهم على ترب مصرية أنَّ قيم الفسفور العضوي تراوحت بين 40-120 جزءاً بالمليون في الترب الطينية المزيجية وانها تنخفض الى 66.78 جزءاً بالمليون في الترب الرملية . وقد اوضح (Abdul-latif, 1975) في دراسته على ترب عراقية أن الفسفور العضوي يمثل (12-20%) من الفسفور الكلي . ولكن (Jasim, 1978) .

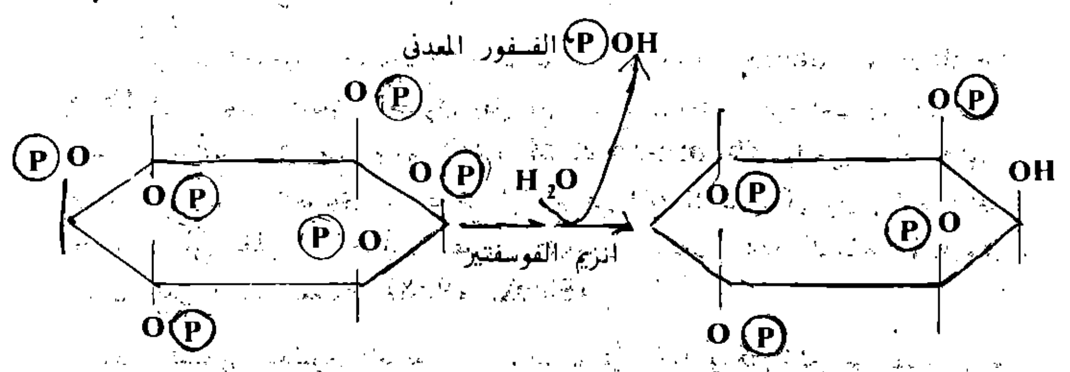
وجد أن نسبة الفسفور العضوي في ترب اسكي – موصل هي بحدود 1.74-11.44% من الفسفور الكلي واكد وجود إرتباط موجب ومؤكد احصائياً مع محتوى المادة العضوية بقيمة ($r = 0.47^{**}$) وارتفاع نسبة الفسفور العضوي في الطبقة السطحية عن الطبقة السفلى .

وتتأثر قيم الفسفور العضوي بعدة عوامل ، فلقد وجد (Walker & Adams, 1959) أنَّ محتوى الفسفور العضوي يقل مع ارتفاع درجة حرارة الجو وزيادة كمية الامطار الساقطة . في حين وجد Thompson et al 1954 وآخرون أنَّ محتوى الترب من الفسفور العضوي يزداد مع ارتفاع قيم pH الترب . كما إن زيادة كثافة الغطاء النباتي تقلل من محتوى الفسفور العضوي بسبب زيادة النشاط الميكروبي ومعدل تحلل المادة العضوية (Black, 1968) .

يضم الفسفور العضوي العديد من المركبات في التربة ولكن اكثر من نصف هذه المركبات غير معروف لحد الآن . ومن المركبات الشائعة :
Inositol phosphate, phosphoproteins, phospholipids, nucleic acids و Phytin . ويعتبر مركب Inositol phosphate اكثر المركبات إنتشاراً إذ يشكل 30-50% من محتوى الفسفور العضوي الكلي حسب ما أورده Anderson, 1969 . وتتراوح قيم محتوى phospholipids مابين 0.5-7% من الفسفور العضوي الكلي . ولا تزيد كمية الفسفور العضوي بالتربة الموجود على هيئة nucleic acids عن 3% .

إن عملية تحول الصور العضوية من الفسفور الى صور معدنية يطلق عليها بالمعدنة mineralization . ولا يعني إضافة أي مادة عضوية للترب أنها تؤدي الى سيادة عملية المعدنة بل قد يكون لعملية التدهور Immobilization تأثير مباشر على معدنة الصور العضوية . ويمكن استخدام نسبة $\frac{C}{P}$ لتحديد الاتجاه السائد بعد إضافة المادة العضوية . فقد وجد أن النسبة 200:1 أو أقل وهذا يعني سيادة عملية المعدنة في حين أن قيم النسبة 300:1 أو اكثر تعني ضياع الفسفور خلال عملية التدهور . ولابد لنا هنا من الأشارة الى استخدام نسبة $\frac{N}{P}$ كدليل جيد لتحديد إتجاه مسيرة الفسفور العضوي بالتربة نحو المعدنة أو التدهور . ولا يمكن النظر الى عملية معدنة الفسفور العضوي وتحرر الفسفور المعدني بأنها عملية سريعة بل قد تأخذ وقتاً طويلاً حتى عند توفر الظروف المناسبة . وتعتمد عملية المعدنة على نشاط احياء التربة وكمية انزيم الفوسفتيز phasphatase enzyme المنطلق من احياء التربة المتخصصة (مثل Penicillium, Aspergillus, Mucor, Rhizopus, Bacillus, Pseudomonas) وجذور النباتات النامية . لذا فإن جميع العوامل (درجة الحرارة والرطوبة والتهوية pH التربة وكثافة

الغطاء النباتي) التي تؤثر على نشاط احياء التربة وبالذات الاحياء المسؤولة عن عملية التحلل تؤثر بدورها على عملية المعدنة بشكل كبير. إن المعادلة الآتية التي (استلت من Mengel & Kirkby, 1982) تبين كيفية انطلاق الفسفور المعدني خلال عملية المعدنة ودور انزيم الفوسفتيز في ذلك.



ويمكن النظر الى صور الفسفور بالتربة من زاوية أخرى عند إدخال الوقت كعامل إضافي في مناقشتنا وكذلك معدل جاهزية الصور المختلفة للنبات إذ تقسم جميع الصور الى ثلاث مجاميع ذات خصائص كيمياوية وفيزيوكيمياوية محددة وهي: –

1- صور الفسفور الذائبة في محلول التربة
Soluble-P forms in Siol Solution

إنّ محلول التربة يحتوي على كمية واطئة من الفسفور غالباً. وعند المقارنة فإن كمية الفسفور الممدصة على أسطح غرويات التربة المختلفة تكون اعلى بكثير من كمية الفسفور الذائبة غالباً، وقد اكد (Pagel, 1983) أن كمية الفسفور الذائبة في محلول التربة تمثل كمية لا تزيد عن 0.01% من الفسفور الكلي بالتربة. في حين اشار (Mengel and kirkby, 1982) الا أن كمية الفسفور الممدصة تزاد بما يقارب 10^2-10^3 عن كمية الفسفور الذائبة. وقد اشار معظم الباحثين الى أن تركيز الفسفور في محلول التربة يختلف من تربة الى أخرى، فقد يصل تركيز الفسفور في بعض الترب الفقيرة جداً بالفسفور الى 10^{-8} مول (Russell, 1973). بينما وجد (Nelson et al 1953) إن التركيز 10^{-4} مول يمثل مستوى جيد لمحتوى محلول التربة من الفسفور والتركيز 10^{-5} مول (يعادل 0.3 جزء بالمليون فسفور في محلول التربة) يمثل مستوى متوسط في معظم الترب.

يعتبر الفسفور الذائب في محلول التربة مهماً جداً من ناحية تغذية النبات . فهو اول من يتحرك لسد احتياجات النبات ، لذا فإن دراسة هذا الجزء والعوامل المؤثرة على التركيز يعني دراسة جانب من القدرة التجهيزية للفسفور في التربة . ولا يمكن النظر الى تركيز الفسفور في محلول التربة كدليل دقيق يحدد احتياجات النبات النامي من الفسفور بل إن لنوعية الصور الايونية السائدة دوراً كبيراً ومؤثراً على قدرة النبات في امتصاص هذا العنصر والاستفادة منه . يوجد الفسفور في محلول التربة بهيئة ايونية هي ايون $H_2PO_4^-$ وايون $HPO_4^=$ وايون $PO_4^{\equiv}$. وترتبط سيادة أي صور ايونية من هذه الصور بقيمة pH الوسط .

أي إن قيم النسبة $\frac{HPO_4^=}{HPO_4^-}$ أو النسبة $\frac{H_2PO_4}{PO_4^{\equiv}}$ يحددها تركيز أيون الهايدروجين في محلول التربة . ويمكن إيضاح هذا الامر من خلال معادلات تحلل حامض الفسفوريك كما يلي :

تعتبر صورة الاورثوفوسفات orthophosphate من اكثر صور الفسفور ثباتاً بالتربة . لذا فإن البدء بمعادلات تحلل حامض الاورثوفوسفوريك orthophosphoric acid يعطي الصورة الـدقيقـة الواضحـة لسلوك الصور الايونية المتحللة من هذا الحامض . فنقطة البداية تمثل التفاعل الآتي :

$$H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^- \qquad \text{Log } K_1 = -2.15$$

أي إن

$$\frac{(H^+)\,(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = K$$

$$\frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = \frac{K_1}{(H^+)}$$

وهذا يعني العلاقة العكسية بين تركيز ايون الهايدروجين وتركيز ايون $(H_2PO_4^-)$. وعند pH = 2.15 فإن النسبة ستساوي واحداً .

$$\frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = 1$$

أي يتساوى تركيز الحامض (H_3PO_4) مع تركيز ايون $(H_2PO_4^-)$ عند pH = 2.15 ، وتكون السيادة الى الحامض عند قيم pH أقل من 2.15 . ويمكن وضع المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log} \frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = pH - 2.15$$

وهذا يعني أن زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة $\frac{(H_2PO_4^-)}{(HPO_4^=)}$ ، بمقدار عشرة اضعاف ، أي ستكون السيادة بعد pH = 2.15 الى ايون (H_2PO_4) ، وفي نفس الوقت يبدأ هذا الايون بالتحلل مع ارتفاع pH الوسط كما في المعادلة التالية :

$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^= \qquad \text{Log } K_2 = -7.20$$

أي إن

$$\frac{(H^+)(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = K_2$$

$$\frac{(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = \frac{K_2}{(H^+)}$$

وعند pH = 7.2 فإن النسبة ستساوي واحداً :

$$\frac{(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = 1$$

أي يتساوي تركيز ايون $(H_2PO_4^-)$ مع تركيز ايون $(HPO_4^=)$ عند pH = 7.2 ، وتكون السيادة الى أيون $(H_2PO_4^-)$ عند قيم pH أقل من 7.2 . ويمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log} \frac{(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = pH - 7.2$$

وهذا يعني أنَّ زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة $(HPO_4^{=})$ بمقدار عشرة أضعاف ، أي ستكون السيادة بعد pH = 7.2 الى أيون $(H_2PO_4^{-})$ ، وفي نفس الوقت يبدأ هذا الايون بالتحلل مع ارتفاع pH الوسط كما في المعادلة الآتية :

$$HPO_4^{=} = H^+ + PO_4^{\equiv} \qquad \text{Log } K_3 = -12.25$$

أي أن

$$\frac{(H^+)\,(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = K_3$$

$$\frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = \frac{K_3}{(H^+)}$$

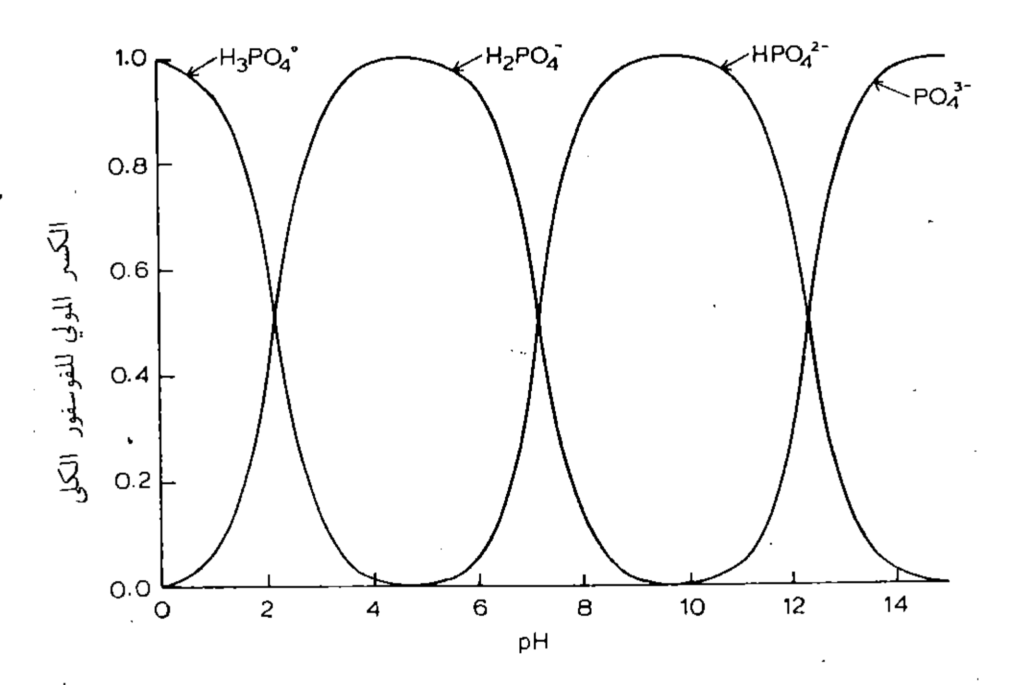
وعند pH = 12.35 فإن النسبة ستساوي واحداً

$$\frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = 1$$

أي يتساوى تركيز ايون $(PO_4^{\equiv})$ مع تركيز ايون $(HPO_4^{=})$ عند pH = 12.35 وتكون السيادة الى ايون $(HPO_4^{=})$ عند قيم pH أقل من 12.35 . ويمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log } \frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = pH - 12.35$$

وهذا يعني أنَّ زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة $\frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})}$ بمقدار عشرة اضعاف ، أي ستكون السيادة بعد pH = 12.35 الى ايون $(PO_4^{\equiv})$. ومن خلال ماتقدم فإن صور الاورثوفوسفات السائدة في الترب الزراعية ذات مدى pH يتراوح بين 4.5 الى 8.5 هي ايون $H_2PO_4^{-}$ و $HPO_4^{=}$. والشكل (1) يوضح علاقة هذه الصور مع بعضها في ظروف pH مختلفة .



الشكل (1) تأثير قيمة pH الوسط على توزيع ايونات الأورثوفوسفات في المحلول (استل من
(Lindsay, 1979

لابد لنا بعد هذا الايضاح حول توزيع ايونات الاورثوفوسفات في محلول التربة وعلاقتها مع قيم الـ pH المختلفة من الرجوع مرة أخرى الى علاقة هذه الصور بتغذية النبات . فالنبات يمتص الفسفور مباشرة من محلول التربة إما بصورة ايون $H_2PO_4^-$ واما بصورة ايون $HPO_4^=$.

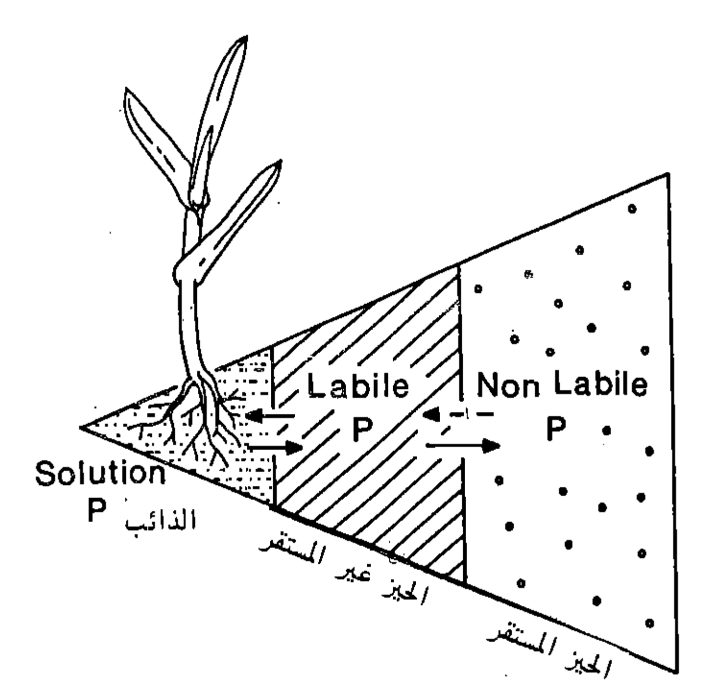
وتفضل النباتات امتصاص الفسفور غالباً بصورة ايون $H_2PO_4^-$ ، كما إن معدل امتصاصه اسرع بالمقارنة مع معدل امتصاص ايون $HPO_4^=$. وسنحاول في مكان آخر من هذا الفصل الرجوع مرة ثانية لمناقشة عملية امتصاص النبات للفسفور وتأثير نوع الصورة وتركيزها في المحلول على ذلك .

2- صور الفسفور في المستودع غير المستقر
P-forms in the labile pool

تتمثل صور الفسفور المتجمعة ضمن هذه المجموعة الفسفور المدمص adsorption على اسطح غرويات التربة أو المترسب حديثاً بهيئة مركبات فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الالمنيوم التي تمتلك اذابة عالية بالمقارنة مع المركبات

القليلة الذوبان كالابتايت . وقد اشار (Pagel, 1983) الى أن كمية الفسفور في هذا المستودع تشكل حوالي 2% من كمية الفسفور الكلي . وتختلف من تربة الى أخرى وفقاً لتوفر العوامل المساهمة في زيادة قدرة التربة الامدصاصية (مثلاً محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم أو الاكالسيد الحرة أو انواع محددة من معادن الطين وغيرها) .

ولا يمكن النظر الى هذا المستودع بانه حالة مستقلة ومنعزلة عن المجاميع الفوسفاتية الأخرى كصور الفسفور مثلاً في محلول التربة . بل يترتبط ما في هذا المستودع مع غيره بحالة من الاتزان الكيمياوي (الشكل 2) .



الشكل (2) اجزاء الفسفور بالتربة وعلاقتها بتغذية النبات (استل من **Mengel and Kirkby, 1982**).

فقد تتحول صور الفسفور الايونية من محلول التربة مع الوقت الى حالة تقع ضمن المستودع غير المستقر كإن يترسب الفسفور بتفاعله مع أيونات الكالسيوم أو الحديد أو الالمنيوم الذائبة في محلول التربة لتكون مركبات حديثة التكوين. أو قد يمدص على اسطح الغرويات أو قد ينطلق الفسفور المتجمع في المستودع غير المستقر خلال عملية الانطلاق desorption نتيجة التبادل الانيوني . ويمكن النظر بأهمية الى طبيعة الاتزان بين عمليتي الامدصاص ـ والانطلاق Adsorption-desorption لانه يمكن من خلاله تحديد حجم هذا المستودع

بالاضافة الى العلاقة الاتزانية مع محلول التربة . ويؤدي الفسفور في هذا الحيز دورا كبيراً في تغذية النبات فهو المستودع الذي يجهز محلول التربة بأستمرار بعد نفاذ محتواه . ومن اجل إلقاء الضوء على أهمية هذا المستودع فإن مالاحظه(Munk, 1981)من أن كمية الفسفور الممتصة من قبل النبات النامي خلال عشرين يوما فقط يزيد من (500) مرة عن المحتوى الموجود في محلول التربة مما يؤكد إنطلاق الفسفور وبشكل تدريجي من هذا المستودع ليجهز جذور النبات . والأجدر هنا بالذكر إن قدرة الفسفور بالبقاء على حالته في هذا المستودع يحددها الوقت وخصائص التربة الفيزيوكيمياوية والظروف البيئية المحيطة . وغالباً ماتتحول الصور المختلفة مع الوقت وبصورة تدريجية الى صور أخرى أقل ذوباناً وجاهزية تقع ضمن المستودع المستقر .

3- صور الفسفور في المستودع المستقر

P-forms in the non-labile pool

تتجمع ضمن هذا المستودع صور مختلفة قليلة الذوبان والجاهزية للنبات ويعتبر معدن الاتبايت من اهم صور هذا المستودع بالاضافة الى صور الفرسكايت Varscite والسترنكايت Strengite وصور الفسفور العضوي المختلفة والبطيئة التحلل . ويشكل الفسفور ضمن هذا المستودع اكثر من 97% من الفسفور الكلي . ولا يمكن إلغاء دور جميع هذه الصور في تغذية النبات فهي بحالة إتزان مع صور المستودع غير المستقر رغم كون ماتدفعه الى ذلك الحيز من فسفور يحتاج الى ظروف خاصة كتوفر احياء تربة متخصصة لكي تساهم في معدنة الصور العضوية أو خلق ظروف مشجعة لاذابة المركبات الصلبة المختلفة .

ومن أجل إيضاح طبيعة الارتباط بين المجاميع الثلاث السابقة الذكر دعنا نفترض إضافة سماد فوسفاتي معين الى التربة فسنجد أنَّ قسماً منه سيبقى في محلول التربة والقسم الاكبر المتبقي يتحرك الى المستودع غير المستقر . ولا يمكن التفكير في هذه المرحلة بحركة أي كمية للمستودع المستقر . وتعتمد الكمية الذائبة في محلول التربة والكمية المتبقية في المستودع غير المستقر على عوامل عديدة ويلعب الوقت بالاضافة الى خصائص التربة الفيزيوكيميـاوية دوراً كبيراً في سرعة حركة الفسفور الى المستودع المستقر .

يتعرض الفوسفور المضاف للتربة الى تفاعلات خاصة تؤدي الى تحوله الى صور غير جاهزة يطلق عليها بالصور المثبتة ومن خلال الدراسات التي قام بها عدد كبير من الباحثين وجد أنَّ حوالي 20-30% من الكمية المضافة تستغل من قبل النـ خلال السنة الاولى ، أما الكمية المتبقية فيمكن اعتبارها صور غير جاهزة في اغلب الاحوال . لذا فإن دراسة إسس تثبيت الفوسفور مع تغير خصائص الترب سيساعد على زيادة المعرفة الخاصة برفع كفاءة التسميد الفوسفاتي مما يكون لهذه الحالة مدلولات اقتصادية خاصة .

وتشمل عملية تثبيت الفوسفات التفاعلات الاتية :

١ ـ امدصاص الفوسفات Phosphate adsorption

يقصد بالأمدصاص الأيوني حركة العنصر من محلول التربة الى سطح معقد التربة دون التفاعل المباشر معه وبدون الأختراق لسطحه ليس كما يحصل في عملية تثبيت أيون الامونيوم . ويمدص الفسفور نوعياً Specific adsorption اي إن الكمية المدصة لا يمكن إعادتها أو أرجاعها مرة ثانية الى محلول التربة وفقاً لأسس وقواعد التبادل الايوني بل وفقاً لحالات خاصة ومن خلال عملية الأنطلاق desorption . وتوصف عملية الأمدصاص النوعي بواسطة معادلات خاصة تبين علاقة التوازن بين الفسفور المدص على السطح والذائب في محلول التربة . فقد أستخدم Watanabe & Olsen , 1957) معادلة لانجومير langmuir (التي صممت خصيصا لوصف امدصاص الغازات على الأسطح) في دراسة امدصاص الايونات على السطح :

$$X = Kbc/ (1 + kc)$$

إذ إن X تمثل الكمية المدصة لكل وحدة وزن تربة ، C عبارة عن التركيز للايون بعد الأتزان ، K عبارة عن طاقة الربط للايون بالسطح في حين b يمثل أقصى حد أمدصاصي عند وصول حالة الامدصاص لتمثل طبقة واحدة Monolayer . ومن أجل حساب قيمة الثوابت k و b نحول هذه المعادلة الى معادلة خطية وفقاً للآتي :

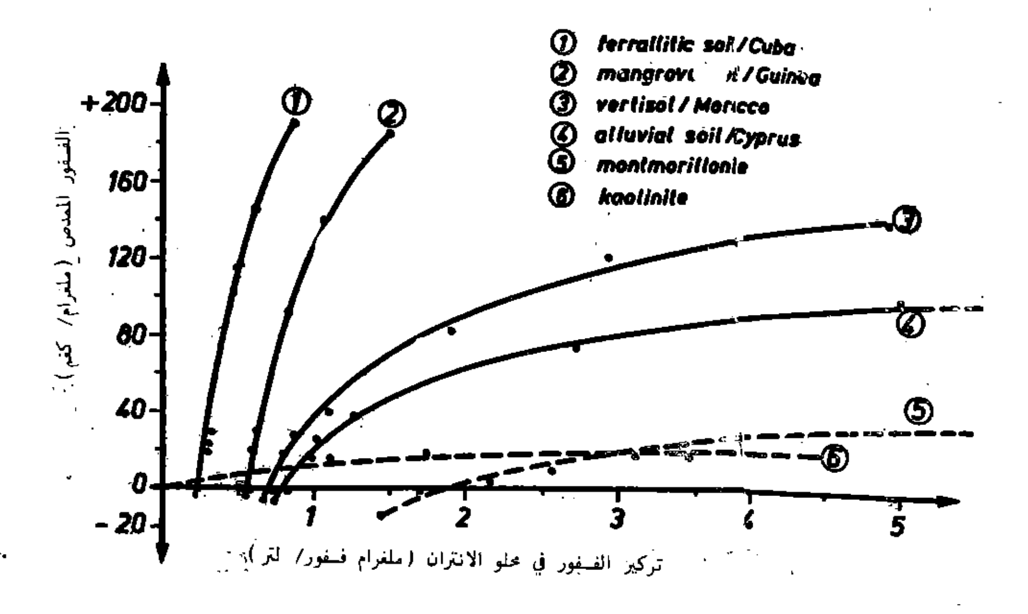
$$\frac{C}{X} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$$

أو

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{b} + \frac{1}{Kbc}$$

ومن خلال رسم العلاقة بين $\frac{C}{X}$ و C أو $\frac{1}{X}$ و $\frac{1}{C}$ يمكن حساب قيم الثوابت (راجع كتاب مبادىء كيمياء التربة ــ المرحلة الثالثة) . وتختلف قدرة الترب الامدصاصية وفقاً لأختلاف خصائصها الكيمياوية والفيزياوية . فقد اشار (Pagel, 1983) الى العلاقة بين تركيز الفسفور بعد الاتزان في محلول التربة والكمية المتصة في ترب مختلفة (الشكل ــ 3) والتي تؤكد أن قدرة التربة على الامدصاص تتفاوت وفقاً لخصائصها ، وإن قلة الامدصاص يعني زيادة التركيز في المحلول والعكس صحيح ايضاً .

سنحاول ايضاح عملية امدصاص الفسفور بغرويات التربة المختلفة كالآتي :



الشكل (3) العلاقة بين كمية الفسفور المدمصة في ترب مختلفة والتركيز بعد الأتزان

أ ـ الامدصاص النوعي بواسطة كاربونات الكالسيوم

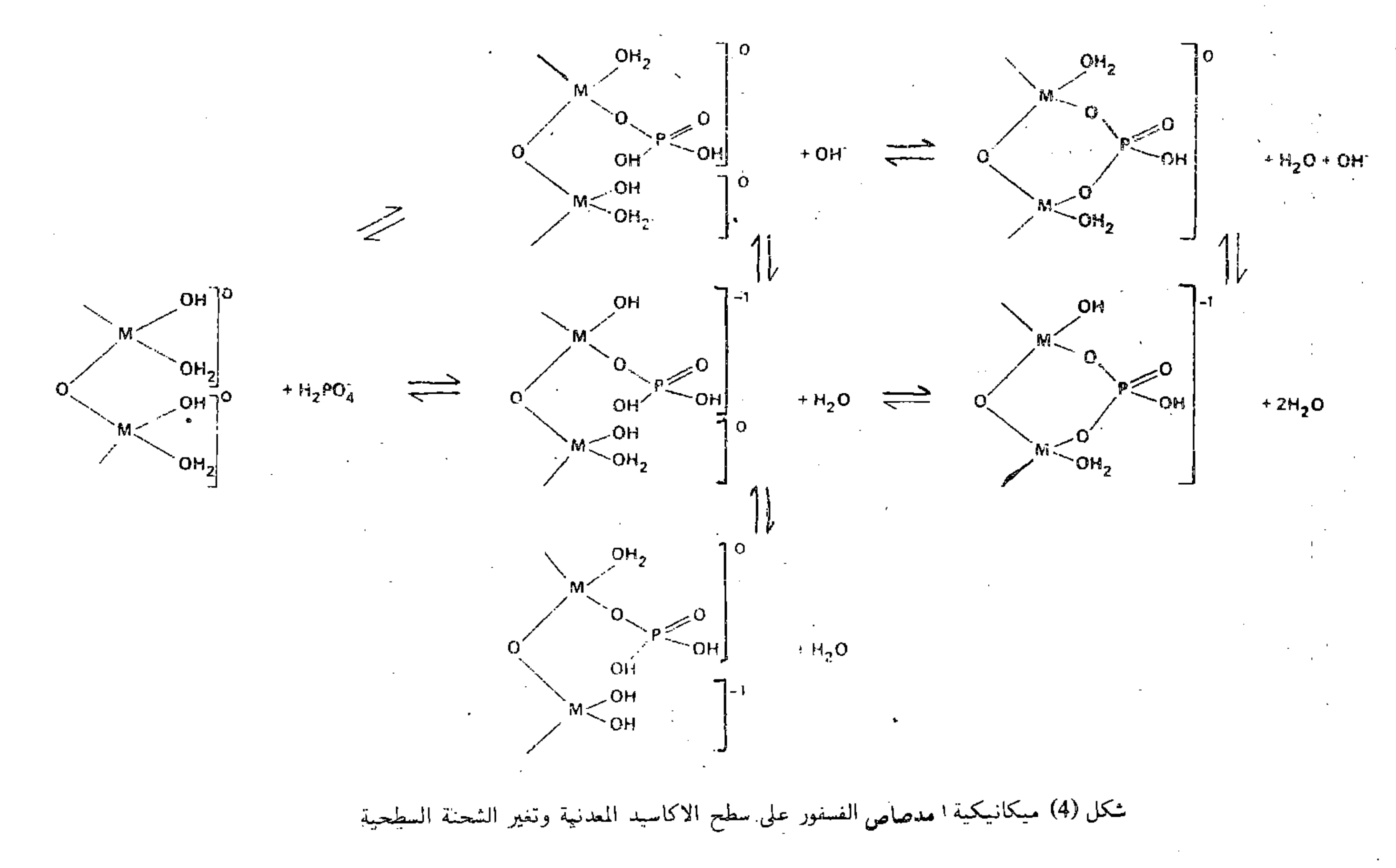
يمدص الفوسفات بواسطة كاربونات الكالسيوم في الترب الكلسية من خلال احلال ايون $H_2PO_4^-$ محل CO_3^{2-} مكوناً طبقة سطحية وبذلك يمكن وصف هذا التفاعل بمعادلة لانجومير Langmuir ، ولكن هذه الحالة تتأثر بتركيز الفسفور المضاف إذ أن زيادة التركيز يدفع التفاعل لتكوين المزيد من الطبقات وبالتالي يتعدى الأمر حدود هذا التفاعل الذي يستلزم التركيزات الواطئة (حسب رأي Cole et al, 1953 لا يتجاوز $10^{-4} \times 3$ مول/ لتر) وكذلك يعتمد على قيمة pH الوسط الذي يحدد النشاط الايوني للكالسيوم في محلول التربة .

يعتبر تفاعل الامدصاص مهماً في الترب الكلسية عند وجود التركيزات الواطئة من الفسفور وتكون الفترة الزمنية اللازمة لهذا التفاعل لا تتجاوز الساعة غالباً كما إشار الى ذلك (Holford & Mattingly, 1975) و (Cole et al 1953) وغيرهم .

(ب) يمدص الأزدواج الايوني للفسفور مع الكالسيوم $CaH_2PO_4^+$ والمغنيسيوم $MgH_2PO_4^+$ على سطح الكاربونات الصلبة وبالأخص كاربونات الكالسيوم . فلقد اشار (Douglas and Walker, 1950) الى سيادة الشحنة السالبة على سطح كاربونات الكالسيوم بعد إذابتها بالماء مما يدفع هذه الايونات الى الانجذاب والامتصاص نوعياً . وقد اكد (Holford & Mattingly, 1975) ذلك وأوضح أهمية السطح النوعي ومحتوى التربة من الكاربونات الصلبة للامدصاص النوعي للفسفور .

جـ ـ الامدصاص الايوني بواسطة الاكاسيد

يتفاعل الفسفور المضاف مع مركبات الحديد والالمنيوم في الترب الحامضية ليكون معقدات مختلفة . وقد يكون التفاعل مباشراً مكوناً راسباً لمكونات الحديد او الالمنيوم مع الفوسفات مثل الفرسكايت Variscite أو السترنكايت Strengite او قد يمدص الفوسفات على سطح اكاسيد الحديد او الالمنيوم كخطوة اولى نحو ترسيب الفوسفات بهيئة مركبات قليلة الذوبان . وقد وصف Mott, 1970 و Mattingly, 1975 ميكانيكية الامدصاص النوعي للفسفور بواسطة اكاسيد الحديد أو الالمنيوم (شكل ـ 4) وتحرر جزيئات الماء وايونات الهايدروكسيل كنتيجة لهذا التفاعل ، بالاضافة الى سيادة الشحنة السالبة على السطح .



شكل (4) ميكانيكية ا مدصاص الفسفور على سطح الاكاسيد المعدنية وتغير الشحنة السطحية

د ـ الامدصاص بواسطة معادن الطين

أوضحت دراسات عدد من الباحثين عدداً من التفاعلات التي تحدث للفسفور المضاف الى التربة مع معادن الطين السائدة .

وقد اشارت هذه الدراسات الى ان معادن الطين 1:1 مثل معدن الكاؤولينات اكثر قدرة على تثبيت الفوسفات من معادن الطين 1:2 . كما ان طبيعة التفاعل يمكن وصفها كالآتي : ـ

(1) قد يحدث احلال متماثل للفسفور في طبقة التتراهيدرا Tetrahedra محل ايون السيليكون إذ لوحظ ان مقدار السيليكا في معلق التربة يزداد بزيادة اضافة الفوسفات . وغالباً مايتم هذا الاحلال في معادن 1:1 مثل معدن الكاؤولينات . ولا يمكن وصف هذا التفاعل كتفاعل امدصاصي لان الفسفور يثبت داخل المعدن وبذا يصبح بصورة غير جاهزة للنبات .

(2) لقد اشار عدد من الباحثين الى وجود احلال بين ايون الفسفور وايونات الهايدروكسيل الموجودة في الهيكل البنائي لمعدن الطين . وقد يتكون معدن جديد نتيجة لزيادة نسبة احلال الفسفور في المعدن . هذا بالاضافة الى أنّ مثل هذا التفاعل يساعد على زيادة عدد المجاميع الهايدروكسيلية المرتبطة بالمعدن مما يؤدي الى زيادة السعة التبادلية الكايتونية للمعدن بعد ارتفاع قيمة pH التربة الى اعلى من 7 .

$$\text{معدن الطين}\left]\begin{array}{l}-OH\\-OH\\\;\;OH\end{array}\right. + H_2PO_4 \rightleftharpoons \text{معدن الطين}\left]\begin{array}{l}-O\\-OH\\-OH\end{array}\right. \quad P\begin{array}{l}-OH\\=O\\-OH\end{array} + OH$$

$$\Updownarrow \qquad \searrow\!\!\nwarrow \qquad \text{معدن الطين}\left]\begin{array}{l}-O\\-O\\-OH\end{array}\right. \!\!>\! P\begin{array}{l}=O\\-OH\end{array} + H_2O$$

$$\text{معدن الطين}\left]\begin{array}{l}-O\\-O\\-O\end{array}\right. \!\!\equiv\! P = O + OH + 2H_2O$$

(3) اكد عدد من الباحثين أن لنوع الكايتون السائد على سطح معدن الطين تأثيراً على كمية الفسفور المدمصة . وبالتاكيد فان وجود ايون الكالسيوم على السطح يشجع عملية امدصاص الفوسفات على سطح المعادن بالمقارنة مع وجود الايونات الاحادية مثل ايون الصوديوم وايون البوتاسيوم . وقد حدد Wild, 1950 مساهمة الايونات الموجبة المتبادلة على سطح الغرويات كالآتي

$$Na^{+} < K^{+} < Mg^{2+} > Ca^{2+}.$$

ومن خلال ماأوردناه نجد ان الفسفور المضاف للترب الحامضية يتعرض الى عملية التثبيت بواسطة الاكاسيد الحرة وكذلك المضاف للترب الكلسية بواسطة كاربونات الكالسيوم . ويمكن اعتبار الفسفور المدمص من حصه محتوى الحيز غير المستقر اي انه يمتلك امكانية التحرر والانطلاق desorption ليكون جاهزاً للنبات . وقد تتعرقل عملية الانطلاق حال تحويل حالة الامدصاص الى حالة الترسيب وتكوين مركبات فوسفاتية مختلفة اما بسبب زيادة تركيز الفسفور المضاف او نتيجة لترسب اكاسيد معدنية او جزيئات من كاربونات الكالسيوم على سطح الغرويات المدمصة للفوسفات وبذلك تحجزه وتمنعه من الانطلاق ليكون جاهزاً للنبات .

إن عملية انطلاق desorption الفسفور المدمص تاتي من خلال احلال ايونات سالبة معينة لها قدرة الامدصاص النوعي مثل ايون البيكاربونات وايون الفلورايد محل الفوسفات المدمص . وقد يتكون ايون البيكاربونات في محلول التربة اثناء تحرر ثاني اوكسيد الكاربون في عملية التنفس واذابته بالماء مكوناً حامض الكاربونيك الذي سرعان مايتحلل وفقاً للمعادلة الآتية .

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

كما ان بعض المركبات العضوية مثل حامض الستريك وحامض الترتريك وغيرها تساهم ايضاً في طرد الفسفور المدمص من مواقعه ليكون جاهزاً للنبات .

2- تفاعلات الترسيب

لقد اشارت عدة دراسات الى تدهور نسبة عالية من الفسفور المضاف من خلال تفاعلات الترسيب التي يمكن النظر اليها كخطوة تالية لعملية امدصاص الفوسفات ولكنها اكثر تعقيداً وضرراً في صلاحية الفسفور لتغذية النبات . ويمكن دراسة هذه التفاعلات كالآتي :

أ ـ التفاعلات بالترب الكلسية

يتعرض الفسفور المضاف الى الترب الكلسية الى سلسلة من التفاعلات مع كاربونات الكالسيوم أو ايون الكالسيوم الذائب في محلول التربة او المتبادل على سطح معادن الطين مكوناً مركبات فوسفاتية مختلفة ، ولو حاولنا تتبع سلسلة التفاعلات ابتداءً من الصور الذائبة بمحلول التربة الى تكوين المركب الاكثر ثباتاً واستقراراً بالتربة ، لوجدنا ان زيادة تركيز ايون الكالسيوم مع ثبات تركيز الفسفور يساعد على تعجيل الوصول الى نهاية سلسلة التفاعل ، وهذا يعني خسارة الجزء الاكبر من الفسفور المضاف بعد تحوله الى صور غير جاهزة للنبات ، اي تحوله الى صور موقع المستودع المستقر . ومن اجل ذلك دعنا نتابع السلسلة التالية :

نسبة Calp

$H_2PO_4^-$ (ايون الاورثوفوسفات الذائب في محلول التربة

↓ يتفاعل مع ايون الكالسيوم

$Ca(H_2PO_4)_2H_2O$ فوسفات احادي الكالسيوم — 1: 2

monocalcium phosphate

↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم وثبات تركيز الفوسفات

$CaHPO_4 . 2H_2O$ فوسفات ثنائي الكالسيوم — 1: 1

Diacalcium phosphate

↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم

$Ca_3(PO_4)_2$ فوسفات ثلاثي الكالسيوم — 3: 2

Tricalcium phosphate

↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم

$Ca_8H_2(PO_4)_6$ فوسفات ثماني الكالسيوم — 4: 3

Octacalcium phosphate

↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ هايدروكسي ابتايت — 5: 3

Hydroxyapatite

↓ مع توفر تركيز من ايون الفلورايد

$Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$ فلورو ابتايت

Florapatite

إن جاهزية الفسفور تقل مع تكوين المركبات الفوسفاتية القليلة الذوبان ، اي بالاتجاه نحو الاسفل مع السهم .

ب ـ التفاعلات بالترب الحامضية

يتفاعل الفسفور المضاف للترب الحامضية مع الاكاسيد الحرة وايونات الالمنيوم والحديد والمنغنيز ليترسب الفوسفات بصيغة مركبات مختلفة أهمها مركب السترنكايت Strengite ومركب الفرسكايت Variscite . وفي بداية تفاعلات الترسيب تتكون مركبات غروية amorphous ذات محتوى عالٍ من الفسفور ولكنها سرعان ماتتحول مع الوقت الى مركبات قليلة الذوبان .

العوامل التي تؤثر على تفاعلات الترسيب

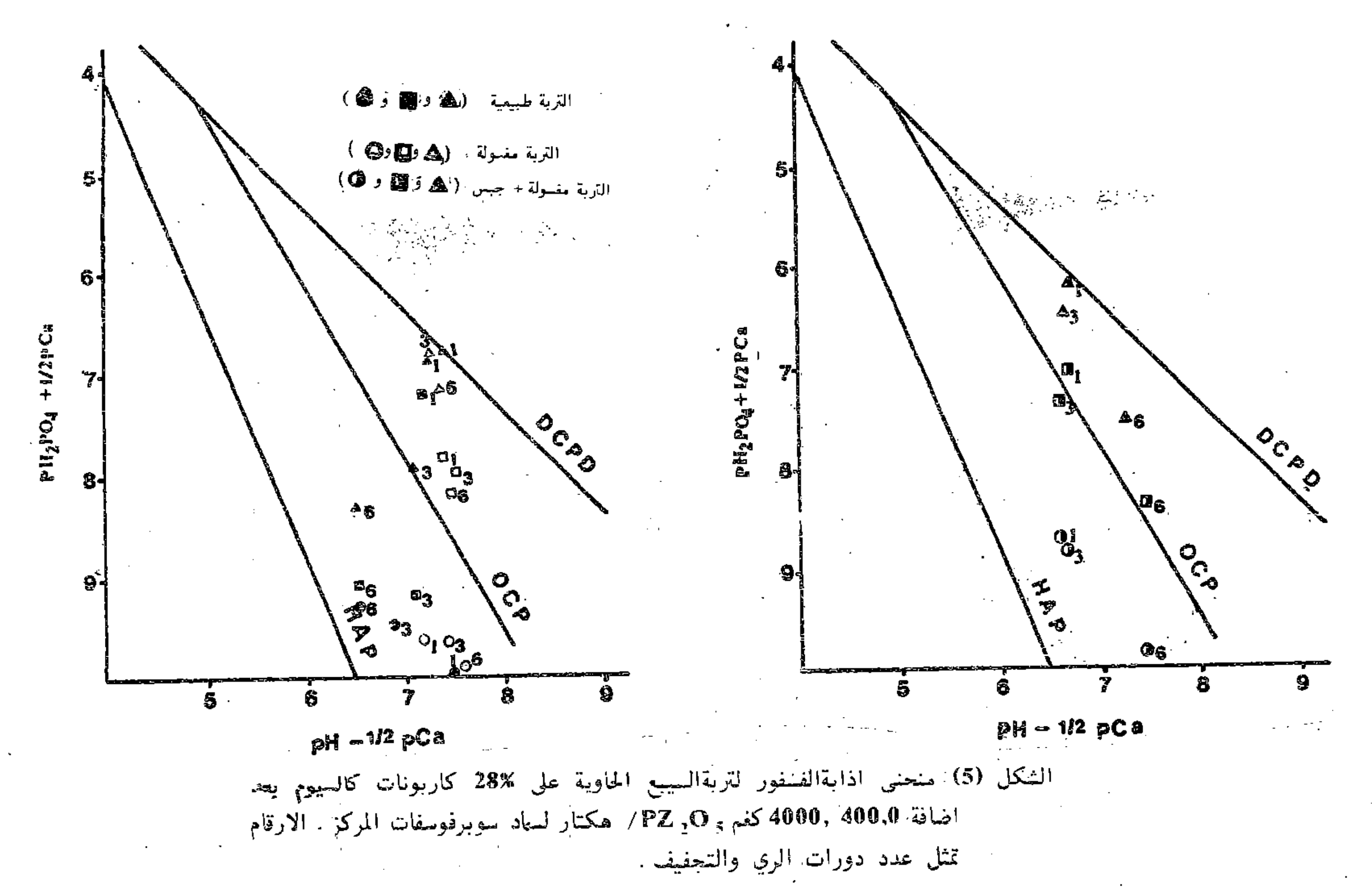
سنحاول مناقشة العوامل التي تؤثر على تفاعلات الترسيب في مختلف الترب لكي نتمكن من خلالها تفهم الجوانب المختلفة لمشكلة تدهور الفسفور بعد اضافته .

١ ـ محتوى التربة من الكاربونات الصلبة

لقد سبق أنْ اوضحنا تأثير ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم وكاربوناتها على جاهزية الفسفور للنبات . ولم يقتصر تأثير هذه المكونات على سلوك الفسفور في الترب الكلسية فحسب بل اشارت نتائج عدد من الباحثين الى التأثير الفعال للمادة الكلسية المضافة للترب الحامضية . ويمكن ايجاز طبيعة هذا التأثير على طبيعة الفسفور وسلوكه كما اورده (Cole et al. 1953) كالآتي :

(1) التأثير المباشر على pH التربة .
(2) طبيعة سطحها الفعال .
(3) تعتبر مصدراً لايونات الكالسيوم .

ومن خلال النقاط السابقة يمكن ايضاح التأثير الفعال لكاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم على جاهزية الفسفور الأصلي بالتربة والمتحرر من الاسمدة الفوسفاتية الذائبة المضافة . ومن النتائج التي توصل اليها (Griffin & Jurinak, 1973) يمكن اعتبار تفاعلات امدصاص الفسفور على سطح الكلسايت Calcite تتم فقط عند التركيزات الفوسفاتية الواطئة وان زيادة التركيز يؤدي الى تكوين المركبات الفوسفاتية المختلفة نتيجة التفاعل المباشر بين الفسفور والكالسيوم أو المغنيسيوم . ولقد حاولنا دراسة تأثير محتوى نماذج معينة من الترب العراقية من الكاربونات الصلبة (كاربونات الكالسيوم) على تفاعلات الفسفور وقد كان واضحاً ان لهذه المادة تأثيراً فعالاً في خفض الفسفور الجاهز الاصلي بالتربة والمضاف بهيئة سماد فوسفاتي (شكل -5) .



الشكل (5) منحنى اذابةالفسفور لتربةالسيع الحاوية على 28% كاربونات كالسيوم بعد اضافة 0، 400، 4000 كغم P_2O_5/ هكتار لسماد سوبرفوسفات المركز . الارقام تمثل عدد دورات الري والتجفيف .

2- محتوى الاكاسيد والهايدروكسيدات الحرة

لقد اوضحنا أن تفاعلات الفسفور المضاف للترب الحامضية تتجه أما الى امدصاص الفسفور على سطح الأكاسيد والهايدروكسيدات وأما الى التفاعل المباشر مع هذه المكونات مما يؤدي الى انتاج مركبات فوسفاتية للالمنيوم والحديد Al-and Fe-phosphates . وقد اشار (Juo & Boyd, 1967) الى وجود سلسلة من نواتج التفاعل reaction products تبدأ بالمركبات الغروية amorphous ذات القدرة التجهيزية العالية للفسفور الى المركبات البلورية Crystalline الاكثر استقراراً وثباتاً والقليلة الذوبان مثل الفرسكايت والسترنكايت . وبين (Udo & Uzu, 1972) إن المركبات المتكونة من Al-P تبقى فترة أطول في حالة غروية (أي اكثر جاهزية) بالمقارنة مع المركبات المتكونة من Fe-P التي تحتاج لفترة قليلة لتتحول الى مركبات بلورية ثابتة . وبصورة عامة تساهم جميع الاكاسيد والهايدروكسيدات في تدهور صلاحية الفسفور كما إن زيادة محتوى التربة يساهم في تشجيع عملية الترسيب وتحويل الفسفور الى صور أقل جاهزية للنبات تقع ضمن صور الحيز المستقر .

3- الرقم الهايدروجيني للتربة Soil-pH

يؤثر pH التربة على جاهزية الفسفور للنبات . فقد أشار (Black, 1968) الى تفضيل النبات لأيون $H_2PO_4^-$ بالمقارنة مع الصور الايونية الأخرى . وإن تركيز أيون $H_2PO_4^-$ يحدده pH التربة ، إذ يقل تركيزه في محلول الترب القاعدية والحامضية ويسود في الترب المتعادلة .

ويؤثر pH التربة ايضاً على تفاعلات ترسيب الفسفور إما من خلال التحول السريع للمركبات العالية الذوبان (مثل فوسفات ثنائي الكالسيوم) الى مركبات قليلة الذوبان مثل فوسفات اوكتا الكالسيوم . فقد اشار (Moreno et al 1960) الى أنَّ ارتفاع pH التربة الى اعلى من 6.4 يؤدي الى سرعة تحول DCPD ⟵ OCP . أو تأثيزه على تركيز الفسفور من الصور المختلفة (جدول 2) . لذا أتجهت الدراسات الى اضافة مواد حامضية مثل الكبريت المعدني وغيرها لمعالجة التدهور السريع للفسفور بفعل pH التربة المرتفع في الترب الكلسية .

جدول (2) تأثير قيمة **pH** الوسط على تركيز الفسفور المنطلق من مركبات فوسفاتية مختلفة .

pH	المركب الفوسفاتي	كمية الفسفور 10^{-4} × مول/ لتر
6.5	DCPD	6.41
	OCP	3.30
	HA	0.025
7.0	DCPD	3.0
	OCP	0.77
	HA	0.0026
8.0	DCPD	1.45
	OCP	0.082
	HA	0.000057

4- نوعية معادن الطين وكميتها

يتأثر ترسيب الفوسفات بنوعية الكايتونات المتبادلة وكميتها التي يحددها نوع معدن الطين السائد وكميته ، بالاضافة الى التفاعل المباشر بين مكونات بعض انواع المعادن (مثل الاكاسيد الحرة) والفسفور وقد سبق أن اشرنا الى سلسلة (Wild, 1950) وتأثير الايونات المتبادلة على امدصاص الفوسفات ويمكن اعتبار التركيز العالي من الكايتونات المتبادلة ذات التأثير المباشر على الترسيب عاملاً مساهماً في زيادة معدل الترسيب للفسفور .

5- المادة العضوية

يوجد الفسفور المعدني بالترب بهيئة مركبات قليلة الذوبان مثل فوسفات الالمنيوم والحديد والكالسيوم . وتلعب المادة العضوية دوراً كبيراً في خلب **Chelate** الايونات الموجبة (الالمنيوم ـ الحديد ـ الكالسيوم) مما يؤدي ذلك الى تحرر الفسفور وانطلاقه بالتربة . وقد حدد (Struthers & Sieling, 1950) أهمية المادة العضوية في حفظ الفسفور وعرقلة تفاعلات الامدصاص والترسيب بالآتي :

(1) تساهم الغرويات العضوية في حجب الايونات الموجبة (الكالسيوم ـ الحديد ـ الالمنيوم) من التفاعل المباشر مع الفسفور الذائب .

(2) يرافق تحلل المواد العضوية إنطلاق غاز ثاني اوكسيد الكاربون الذي يعمل على خفض pH التربة مما يساعد على اذابة بعض المركبات الفوسفاتية .

(3) تعتبر المادة العضوية مصدراً جيداً للفسفور العضوي الذي يمتاز بقلة تثبيته بواسطة غرويات التربة بالمقارنة مع الفسفور المعدني ، بالاضافة لقدرة احياء التربة لتحلله وتحوله الى صور معدنية جاهزة للنبات . وقد اشار (Mattson et al, 1951) الى قدرة المادة العضوية في زيادة جاهزية مركبات فوسفات الكالسيوم (مثل الابتايت) الى حوالي عشرة اضعاف . في حين درس Perrott, 1979 كفاءة المادة العضوية في عرقلة تبلور المركبات الفوسفاتية الغروية في الترب الحامضية . وقد اكدت النتائج أهمية اضافة المادة العضوية في عرقلة ترسيب الفوسفات في مثل هذه الترب . كما اكد (Amer et al 1980) دور المادة العضوية في زيادة جاهزية الفسفور للحنطة (جدول 3) .

6- ملوحة التربة

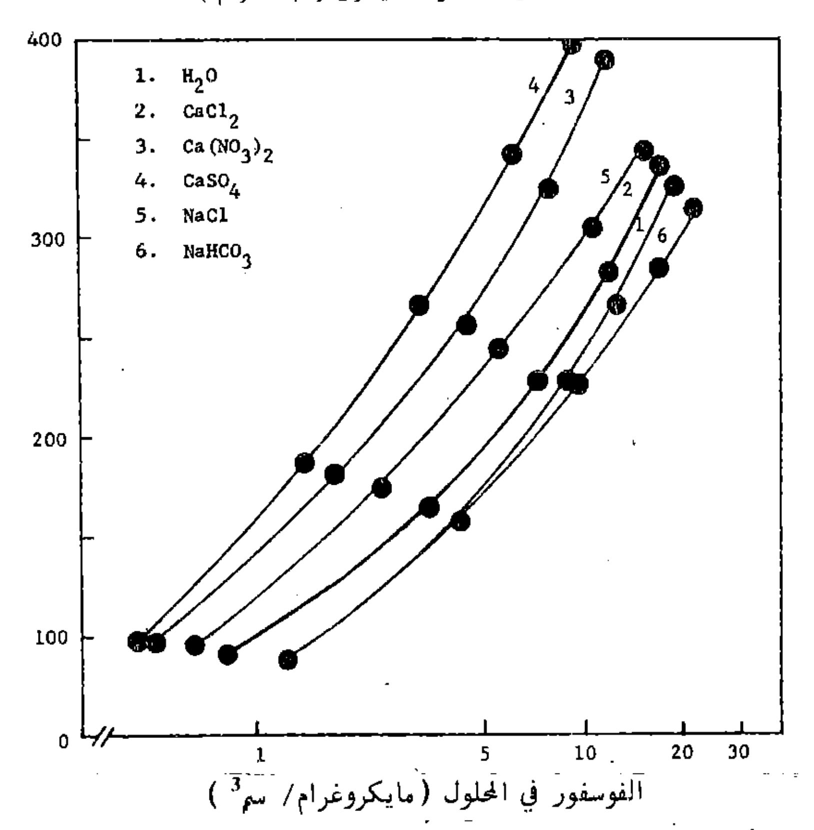
إن لكايتونات الاملاح المختلفة تأثراً على اذابة الفسفور في الترب . فقد اشار كل من (Olsen, 1953 و Wild, 1950) الى إنخفاض جاهزية الفسفور عند زيادة ملوحة التربة . وقد اكد (Awad, 1982) هذا الاستنتاج من خلال دراسته لتفاعلات الفسفور في نماذج من الترب العراقية (الملحية الكلسية) . ومن خلال تلك النتائج يمكن القول بأن الفسفور المضاف للترب القليلة المحتوى من الاملاح أو الكاربونات الصلبة يبقى محافظاً على جاهزيته فترة أطول بالمقارنة مع تفاعلات الفسفور في ترب عالية المحتوى . كما أن اضافة الجبس بعد ازالة الاملاح من الترب يخفض الى حد ما اذابة الفسفور مقارنة بنفس المعاملة ولكن بدون اضافة الجبس الى نفس الترب المغسولة . علماً بأن هذا الانخفاض في اذابة الفسفور لم يصل الى المستوى الذي عليه في الترب غير المغسولة من الاملاح وهذا بالطبع يؤكد أنَّ اذابة الفسفور تتأثر بالقوة الايونية لمحلول التربة ونوعية الايون الموجب الشحنة السائد على السطح (الشكل ـ 5 و 6) . كما وجد ايضاً أن امتصاص واستفادة محصول الذرة الصفراء من الفسفور قد تتأثر بمحتوى التربة من الملوحة والكاربونات .

جدول (3) تأثير اضافة المادة العضوية على وزن الحبوب والقش والكمية الممتصة من الفسفور بواسطة محصول الحنطة.

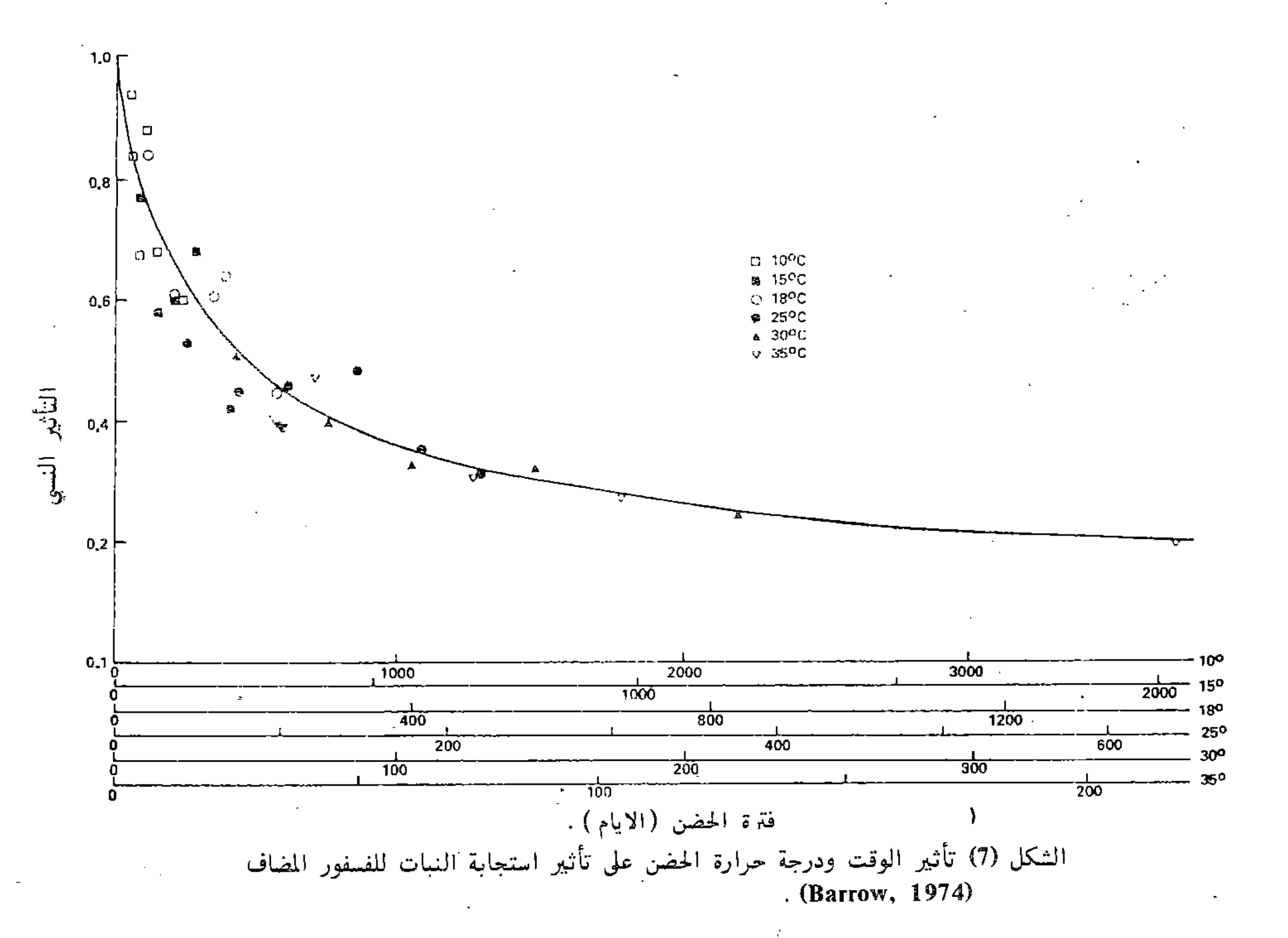
المعاملة	بوحدة غرام / سندان		ملغم / سندان
	وزن الحبوب	وزن القش	الكمية الممتصة من الفسفور
	تربة	رسوبية	
المعاملة القياسية	54.3	69.1	117.3
فوسفات احادي الكالسيوم 50 PP M فسفور خلط	86.3	77.3	269.5
فوسفات احادي الكالسيوم 50 PP M فسفور + 3% مادة عضوية	84.8	75.1	341.6
فوسفات احادي الكالسيوم 100 PP M فسفور خلط	85.9	78.0	309.8
فوسفات ثنائي الامونيوم 50 PP M فسفور خلط	84.2	87.2	280.7
فوسفات ثنائي الأمونيوم 100 PP M فسفور خلط	88.5	80.7	349.0
فوسفات ثنائي الامونيوم 50 PP M فسفور اضافة تحت السطح	94.2	90.5	272.9
فوسفات ثنائي الامونيوم 50 PPM فسفور 3% مادة عضوية اضافة تحت السطح	89.2	82.2	365.2
فوسفات ثنائي الامونيوم 100 PP M فسفور اضافة تحت السطح	90.5	84.8	269.2
3% مادة عضوية خلط	63.2	65.5	175.5
	تربة	صحراوية	
المعاملة القياسية	18.4	25.5	54.8
فوسفات احادي الكالسيوم 50 PP M فسفور خلط	62.0	73.7	174.3
فوسفات احادي الكالسيوم 50 PP M فسفور + 3% مادة عضوية خلط	84.3	77.8	270.7
فوسفات احادي الكالسيوم 100 PP M فسفور خلط	84.9	82.2	279.5
فوسفات ثنائي الامونيوم 50 PP M فسفور خلط	62.8	78.2	203.1
فوسفات ثنائي الأمونيوم 100 PP M فسفور خلط	70.3	76.6	244.5

وقد قدم (Buehrer, 1932) تفسيراً لتأثير الاملاح على كفاءة الاسمدة الفوسفاتية واشار الى قدرة الاملاح وبالاخص الاحادية مثل ملح كلوريد الصوديوم على اذابة كاربونات الكالسيوم وتحرير مزيد من الكالسيوم الذي يساهم في زيادة تركيزه في محلول التربة مما ينعكس ذلك على تعجيل ميكانيكية ترسيب الفسفور. وحاولنا ايضاً دراسة تأثير نوعية الاملاح وتركيزها على تفاعلات الفسفور وكانت النتائج تؤكد الانخفاض المعنوي في جاهزية الفسفور مع زيادة تركيز الاملاح وإن طبيعة التأثير تتبع سلسلة (Lehr & Van Wesenal, 1952) التي يترتب بها املاح الكايتونات حسب تأثيرها كالآتي (الشكل) Ca ≪ Mg ≪ K ≪ Na وإن املاح الكبريتات أقل تأثيراً من املاح الكلوريدات والنترات . ويمكن الرجوع الى نتائج عدد من الباحثين أمثال (Ryden & Syers; 1975, Ryden et al, 1977) وغيرهم للأستفادة من ذلك (الشكل ـ 6).

ويجدر الاشارة الى وجود عوامل أخرى تتحكم ايضاً في تفاعلات الترسيب. الزمن الذي يلعب دوراً كبيراً في خفض تركيز الفسفور (الشكل 7). بالاضافة

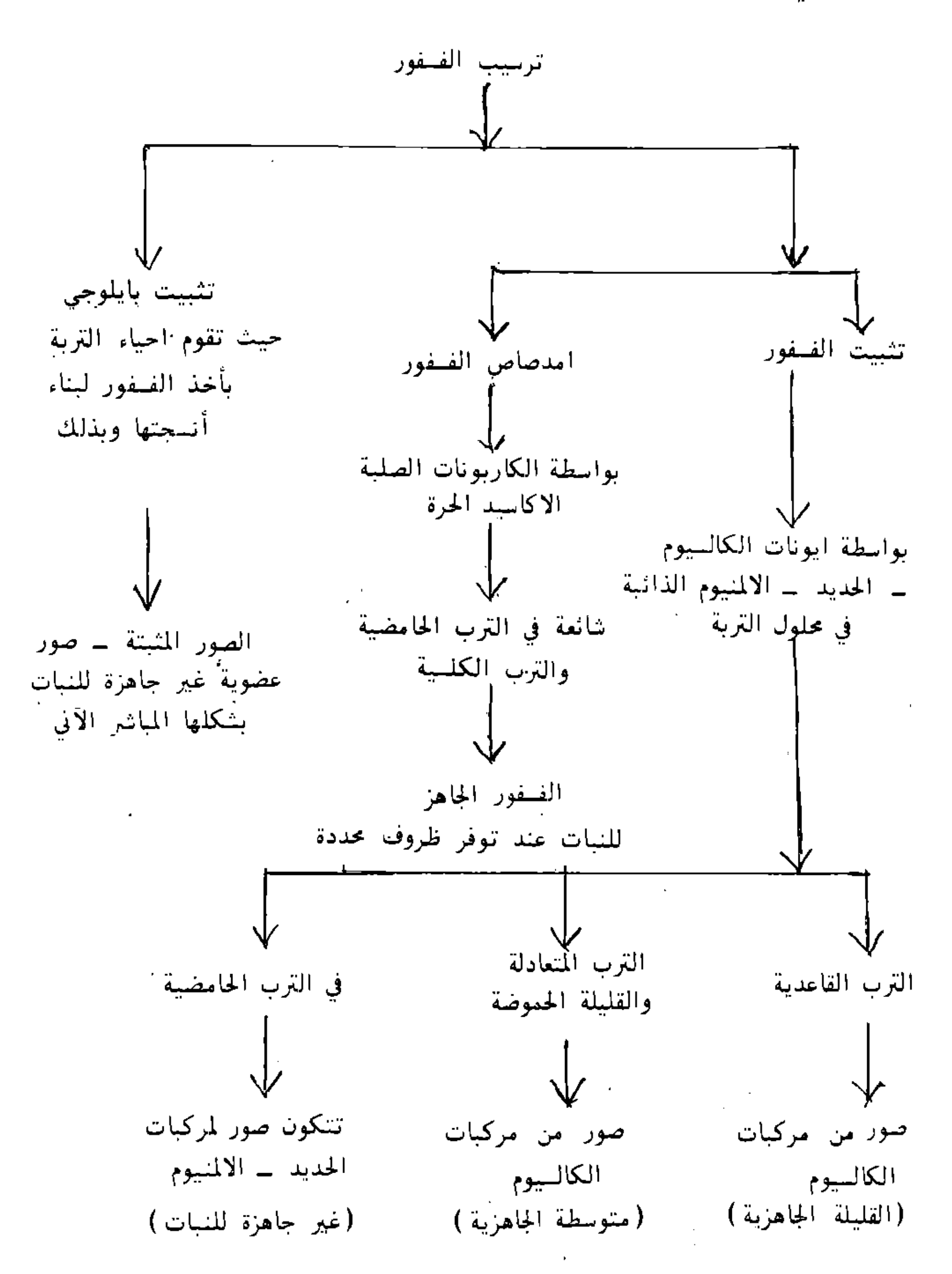


الشكل (6) تأثير اضافة 0.01 مول/ لتر من محاليل ملحية مختلفة على ترسيب الفسفور المضاف بتراكيز مختلفة 1300-1500 Mg P بهيئة KH_2PO_4 (Singh & Tabatabi, 1976).



الشكل (7) تأثير الوقت ودرجة حرارة الحضن على تأثير استجابة النبات للفسفور المضاف (Barrow, 1974).

الى الرطوبة ودرجة الحرارة ونظام الترطيب والتجفيف ونوع السماد المضاف وخصائصه وسنكتفي بذكرها فقط . والمخطط التالي يبين ميكانيكية تثبيت الفسفور في مختلف الترب .



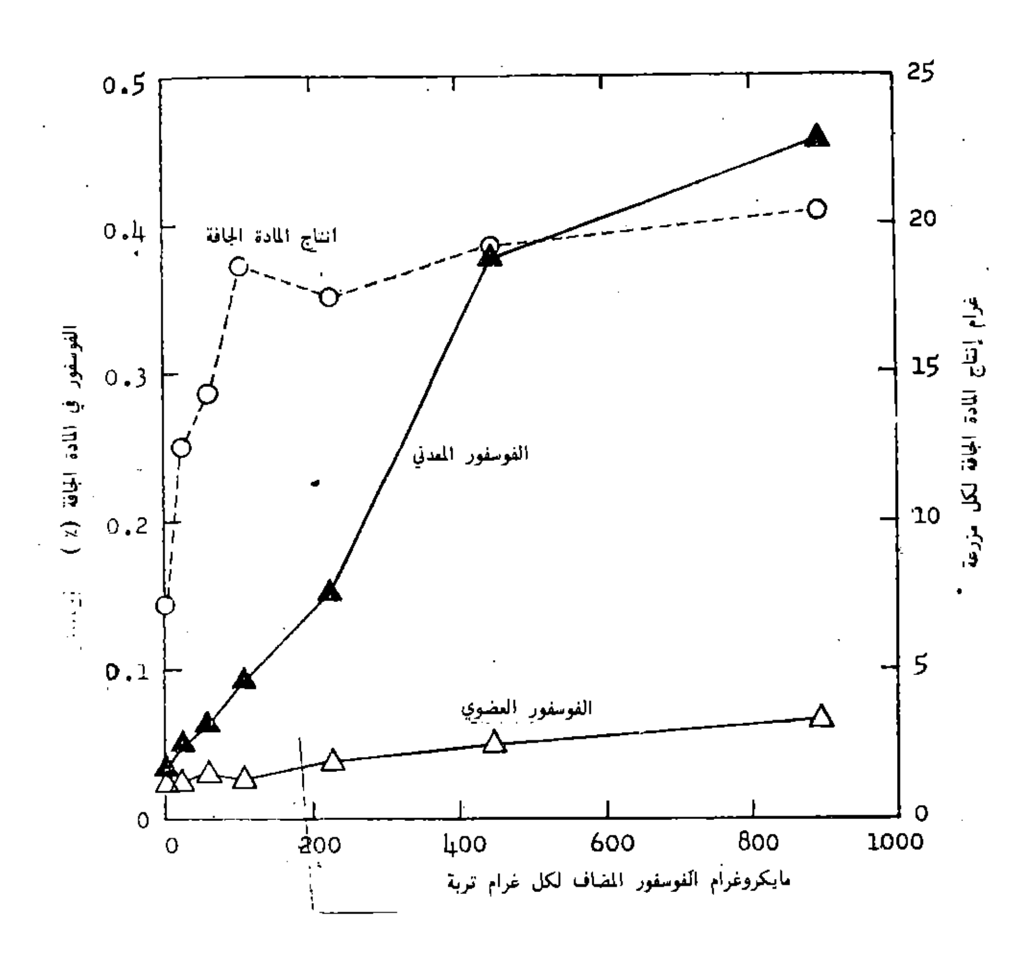
امتصاص الفسفور

يمتص النبات عنصر الفسفور بهيئة أيونية هي HPO_4^{2-} و $H_2PO_4^-$ ، ويمكن النظر الى الصورة الثانية ($H_2PO_4^-$) بانها الصورة الاكثر تفضيلاً . يستهلك الفسفور الممتص من قبل النبات دون تعرضه الى عملية اختزال كما يحصل ذلك بعد امتصاص النترات (NO_3^-) . لذا يشترك الفسفور بصورته المتأكسدة حال امتصاصه في العمليات الحيوية المختلفة ، فقد اشار (Jackson and Hagen, 1960) الى تحول 80% من الفسفور الممتص وبعد 10 ثواني من امتصاصها الى صور عضوية مثل hexosephosphate و Uridine diphosphate ثم تتحرك هذه الصور خلال النبات الى جميع اجزاء النبات باحثاً عن اي جزء يحتاج الى الفسفور وبهذا تعتبر الصورة العضوية الصورة الرئيسية الحاملة للفسفور . وتختلف نسبة الفسفور العضوي بالمقارنة مع نسبة الفسفور المعدني الممتص وفقاً لنوع النبات وعمره واجزائه (جدول 4) . ومن خلاله يمكن القول بأن $\frac{1}{3}$ – $\frac{2}{3}$ من الفسفور المعدني الممتص يبقى بصورته الطبيعية . وهذا يعني أنَّ ارجاع بقايا النبات الى التربة يدفع الفسفور المعدني للانطلاق من هذه البقايا والتفاعل مع مكونات التربة . فقد درس (Hunziker, 1949) العلاقة بين انتاج محصول الشوفان ومحتواه من الفسفور العضوي والمعدني المزروع في ترب عوملت بمستويات مختلفة من سماد السوبر فوسفات . وقد أستنتج بأن محتوى المادة الجافة للشوفان من الفسفور المعدني اكبر

جدول (4) محتوى اجزاء بعض النباتات من صور الفسفور العضوي والمعدني (استل من (Sauchelli, 1965) .

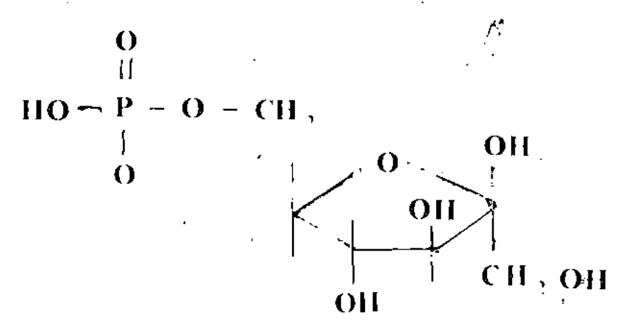
المحصول	اجزاء النبات	محتوى النبات الكلي من الفسفور (٪)	
		العضوي	المعدني
الذرة الصفراء	بذور	95	5
الذرة الصفراء	السيقان	60	40
الحنطة	بذور	96	4
الحنطة	القش	28	72
فول الصويا	بذور	95	5
البطاطا	الدرنات	55	45
القطن	الألياف	55	45

من محتواها من الفسفور العضوي (الشكل 8) ، إذ يعتمد محتوى النبات من الصور العضوية على قدرة النبات على تحويل الصور العضوية وكذلك على معدل النشاط الحيوي في جميع اجزاء النبات .



الشكل (8) انتاج المادة الجافة لمحصول الشوفان ومحتوى انسجته من الفسفور المعدني والعضوي النامي في تربة عوملت بمستويات مختلفة من سماد السوبر فوسفات .

إن الصور العضوية الشائعة التواجد في انسجة النباتات المختلفة يمكن تحديدها بالآتي : فايتن phytin ، phospholipids ، nucleoproteins ، nucleic acids ، phosphorylated suger ، adenine ومركبات فوسفاتية عضوية مرتبطة مع بعض الانزيمات ويتمركز الفسفور العضوي في البذور ويقل في الاجزاء الاخرى من النبات وللمقارنة فان الفسفور المعدني يتمركز في خلايا الجزء الخضري ، وتحتوي الثمار على كمية عالية من الفسفور العضوي غالباً يلعب الفسفور دوراً هاماً كحامل للطاقة ويتلخص الامر بأن الفسفور المعدني الممتص يرتبط من خلال مجموعة الهايدروكسيل مع وحدات السكر مكونة بذلك الاتحاد صورة عضوية مثل Fructose 6-phosphate .



Fructose 6-phosphate

وهنالك ارتباط اخر للفسفور كما يحصل في حالة تكوين Lecithin

$$
\begin{array}{l}
\qquad\qquad\quad H_2C - O - COR \\
\qquad\qquad\qquad\ | \\
R - CO - O - CH \qquad\quad O \\
\qquad\qquad\qquad\ | \qquad\qquad \| \\
\qquad\qquad\quad H_2C - O - P - O - CH_2 - CH_2 - N\ (CH_3)_3
\end{array}
$$

Lecithin

وإن أهم المركبات الفوسفاتية هي adenosine triphosphate (ATP)

$$HO - \overset{O}{\underset{OH}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}} - O \sim \overset{O}{\underset{OH}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}} - O \sim \overset{O}{\underset{OH}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}} - O - CH_2$$

[ATP]

adenosne diphosphate (ADP)

اصرة الطاقة

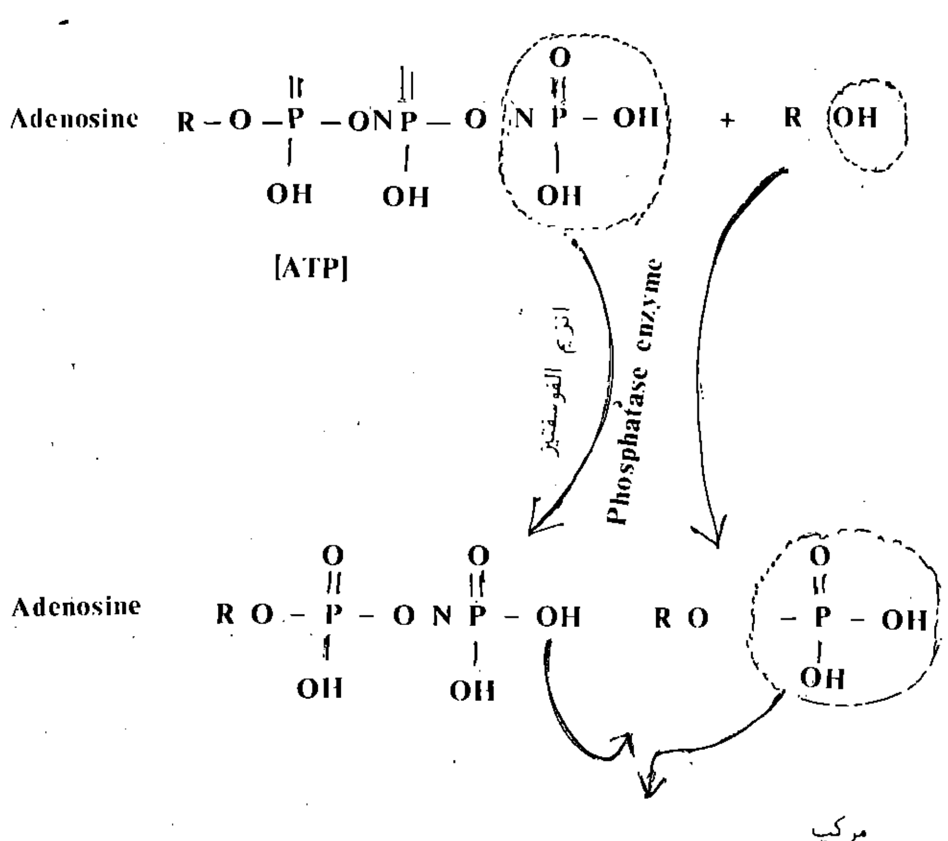
$$R - O - \overset{O}{\underset{OH}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}} - O \sim \overset{O}{\underset{OH}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}} - OH$$

إذ أنَّ R تمثل وحدات سكر متكونة من خمسة ذرات كاربون five carbon sugar وتحتوي المركبات (ATP) و (ADP) على أوآصر غنية بالطاقة تنطلق خلال عملية التحلل المائي لهذه المركبات . إذن يتكون المركب (ATP) خلال عملية التركيب الضوئي واتحاد الفسفور مع جزيئات السكر . ولكن خلال عملية التنفس

أو تحت الظروف اللاهوائية يتحول المركب (ATP) خلال عملية التحلل المائي مكوناً (ADP) ومحرراً طاقة ، كما تصفه المعادلة التالية :

$$ATP \longrightarrow ADP + P_i + 32KJ$$

معدني



إن عملية تكوين [ATP] تتم بخطوتين او اكثر تبدأ بتكوين مركب phosphorylated الذي يحمل الطاقة ويتحرر هذا المركب من جديد خلال العملية العكسية في تكوين [ADP] من المركب [ATP] الذي يتحلل بواسطة الاستهلاك المباشر من قبل العمليات الحيوية محرراً فسفوراً معدنياً وطاقة . من

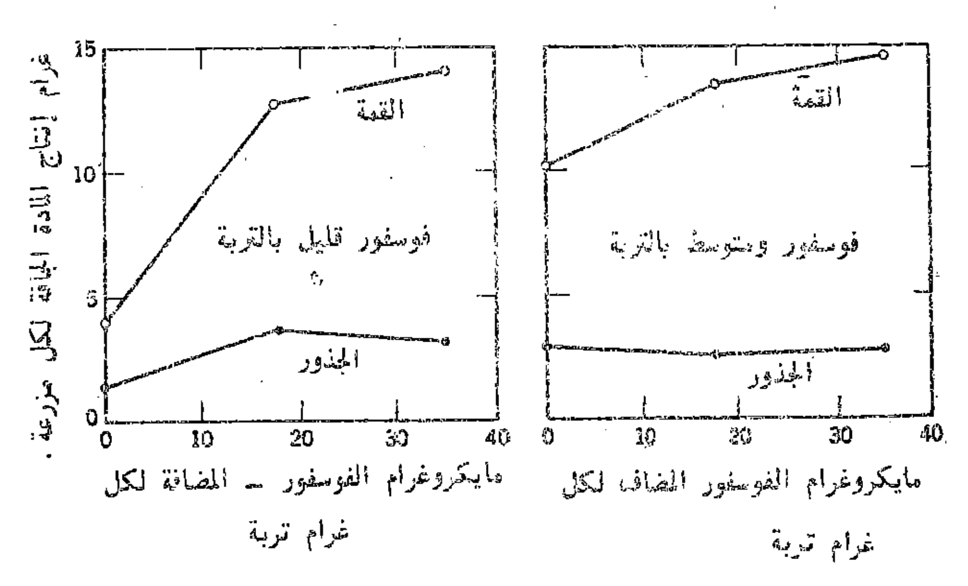
خلال ماتقدم يتضح الدور الكبير الذي تلعبه هذه المركبات الحاملة للطاقة في انجاز العمليات الحيوية المختلفة في اجزاء النبات وفي مختلف مراحل النمو. إن امتصاص العناصر الغذائية وتحركها تعتمد وبشكل اساسي على كمية [ATP] في المجموع الجذري وانسجة النبات الاخرى. وبهذا يساهم الفسفور في زيادة انتاج الحاصيل الزراعية. كما تساهم هذه المركبات في تجهيز العمليات الحيوية الاخرى كأمتصاص الماء وتمثيل المركبات العضوية اللازمة لتكوين أنسجة ومكونات النبات الاخرى. وان مختلف هذه العمليات لها مساهماتها في زيادة انتاجية المحاصيل والنباتات المختلفة (جدول 5). ومن خلال ذلك يمكن تفسير سبب تمركز محتوى عالي من الفسفور المعدني في المجموع الجذري وازدياد محتوى النبات المسن من الفسفور العضوي بالنسبة لكمية الفسفور الكلية.

جدول (5) استجابة الذرة البيضاء للتسميد الفوسفاتي (Adepetu, 1983)

مستوى السماد كغم P / هكتار	متوسط انتاج الحبوب كغم / هكتار	استجابة المحصول (٪ من انتاج المعاملة P_0)
P_0	301	—
P_{15}	490	63
P_{30}	586	95

الفسفور ونمو النبات

إن امتصاص النبات لعنصر الفسفور يساهم في زيادة نمو جميع اجزاء النبات. فقد اشار (Power et al 1963) الى أن استجابة الجزء العلوي above ground part اعلى من استجابة المجموع الجذري (الشكل 9). وقد عللا زيادة القمة Tops التي تشمل الساق والاوراق في محصول الشعير الى الاستهلاك المستمر للكاربوهيدريت Carbohydrate في القمة وعدم نزوله الى الاسفل. وقد كانت النتائج التي توصل اليها (Houghland, 1947) على محصول البطاطا مطابقة لما توصل اليه Power وجماعته على محصول الشعير. وبهذا يمكن القول بأن المجموع الجذري يخزن الفسفور المعدني الذي يتحرك وفقاً للطلب الى الجزء الاعلى في حين أنَّ استمرار نمو القمة يمنع نزول الكاربوهيدرايت. لذا فإن الحاصيل الثمرية ومحاصيل الحبوب ايضاً تحتاج الى كمية عالية من الفسفور وذلك للمحافظة على مخزون كاربوهيدراتي جيد.



الشكل (9) انتاج الجزء العلوي وجذور الشعير المزروع في ترب رملية مزيجية عوملت بمستويات مختلفة من سماد السوبر فوسفات المركز.

كما لاحظ البعض أنَّ الفسفور يساهم في تعجيل دخول النبات في مراحل النمو المتقدمة. فالاضافة العالية من الفسفور قد تعجل النبات للدخول في مراحل الازهار المبكر (جدول 6). وقد ايد ذلك (Yamashita and Goto, 1963) بعد أن لاحظ تأثير أضافة الفسفور بكميات كافية على انتاجية محصول الطماطا بالمقارنة مع عدم الاضافة.. كما اشار (Specht, 1963) الى أن عدم اضافة الفسفور لبعض انواع الخضراوات والمحاصيل دفع الى تأخير فترة النمو بالمقارنة مع النباتات النامية في ترب تحتوي على كمية كافية من الفسفور. وقد أخذت هذه الظاهرة لانتاج بعض المحاصيل والاسراع في نضجها قبل وقتها لتلافي الظروف الجوية أو عوامل اخرى تؤثر على الانتاج.

جدول (6) تأثير مستوى الفسفور المضاف على انتاجية الباقلاء وتعجيل فترة النضج (Black, 1968).

مستوى السماد الفوسفاتي المضاف كغم / هكتار	انتاج الباقلاء كغم / هكتار	معدل انتاج الباقلاء المبكر منسوباً للانتاج الكلي
0	20	25
20	227	40
39	400	47
59	388	48

وقد اشارت نتائج العديد من الابحاث العلمية الى أن استجابة المحاصيل الزراعية للفسفور تكون اكبر في بداية الموسم وتقل تدريجياً وصولاً الى مرحلة النضج . ويمكن ايضاح ذلك من خلال مناقشة نتائج جدول (7) . وهذا يؤكد اهمية اضافة الاسمدة الفوسفاتية منذ بداية مراحل النمو وإن حصول المحصول على كمية كافية من الفسفور بداية الموسم-ينعكس بالايجاب على الانتاج الكلي ، أي أن النبات يفضل امتصاص احتياجاته من الفسفور بداية النمو .

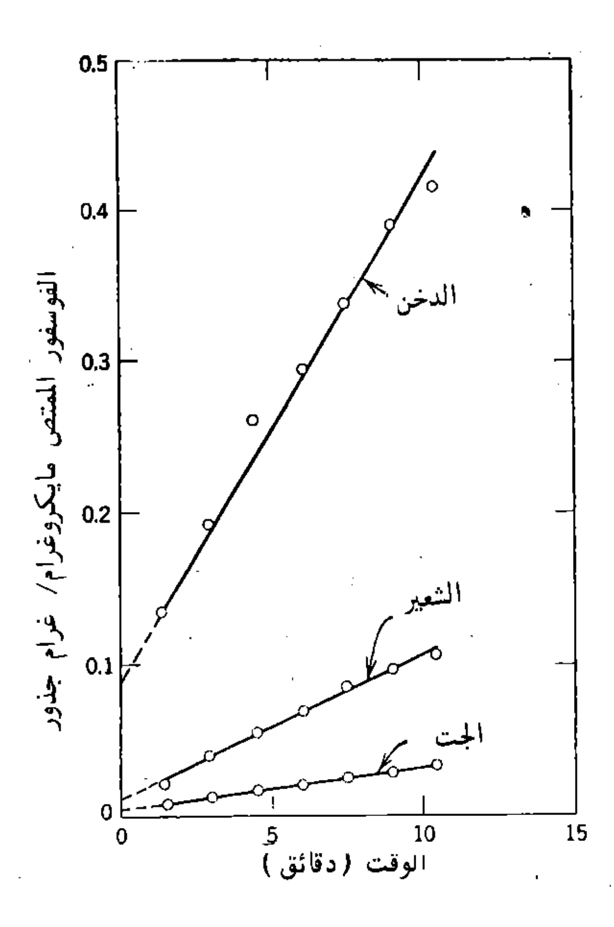
جدول (7) تأثير وقت التسميد على انتاجية محصول الشوفان من (المادة الجافة) بوحدة كغم/ هكتار (استل من Black, 1968) .

وقت التسميد	بدون اضافة فسفور / كغم	اضافة 39 كغم فسفور / هكتار	معدل الزيادة من الفسفور المضاف %
2/ حزيران	570	760	33
22/ حزيران	3000	3400	13
8/ تموز	4200	4700	12

إذ من أهم العوامل المحددة للاستجابة للفسفور هي نوع المحاصيل الزراعية إذ وجد أنَّ قدرة المحاصيل في استخلاص الفسفور واستهلاكه في العمليات الحيوية مختلفة وفقاً لنوع المحاصيل المزروعة ويفسر هذا الاختلاف اختلاف المواقع المخصصة للفسفور على الجذور . عموماً فإن تركيز مواقع حمل الفسفور في غرام واحد من جذور النبات يزداد مع صغر قطر الجذر أي مع زيادة المساحة السطحية للجذور . فقد اشار (Noggle & Fried, 1960) بعد دراسته الى خصائص ثلاث نباتات في امتصاص الفسفور من محلول غذائي يحتوي على الفسفور (الشكل 10) :

وبهذا فإن قدرة المحاصيل المدروسة تختلف في الكمية الممتصة من الفسفور بعد فترة زمنية ثابتة كالآتي : الدخن > الشعير > الجت . ويرجع سبب ذلك الى صغر قطر المجموع الجذري للدخن بالمقارنة بجذور الشعير ، ولهذا تكون المساحة السطحية وتركيز مواقع حمل الفسفور في الدخن اكبر .

وتفسر القدرة المختلفة للمحاصيل على امتصاص الفسفور ايضاً بتغير نشاط ايونات الهايدروجين والكالسيوم في المنطقة القريبة من سطح الجذر وفقاً لنوع المحصول المزروع . وهنالك آراء عديدة تفسر سبب اختلاف استجابة المحاصيل للفسفور في مختلف الظروف .



الشكل (10) مقارنة امتصاص الفسفور من قبل محصول الدخن ـ الشعير والجت من محلول غذائي يحتوي على 15.5 ملغم فسفور بهيئة P^{32} لكل مليلتر .

إنّ هنالك عوامل عديدة تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر على استجابة الحاصيل للتسميد الفوسفاتي مثل قيمة pH الوسط لاحظ (Hendrix, 1967) أنَّ استجابة الباقلاء للتسميد الفوسفاتي تأثرت بشكل معنوي بعد رفع pH التربة من 4 الى 8.7 وبنفس الوقت انخفضت الكمية المتصة الكلية Total uptake بمقدار 10 اضعاف عما كانت عليه في pH = 4 . كما اشار (Nieman & Clark, 1976) الا ان محاولة ربط الملوحة مع التسميد الفوسفاتي يجعل للملوحة تأثيراً على استفادة النبات من الفسفور ويؤثر على نسبة ATP / ADP مما ينعكس ذلك على الطاقة المتكونة والمتحررة (جدول 8) . والملوحة تؤدي الى زيادة تركيز الفسفور في الاوراق بمقدار اكثر من الضعف مما يؤدي الى تمزق الاوراق وكذلك زيادة كمية Suger phosphate بسبب تقزم النبات وهذا يحدد عملية التركيب الضوئي (جدول 9) .

جدول (8) تأثير الملوحة على استجابة محصول الذرة الصفراء للتسميد الفوسفاتي

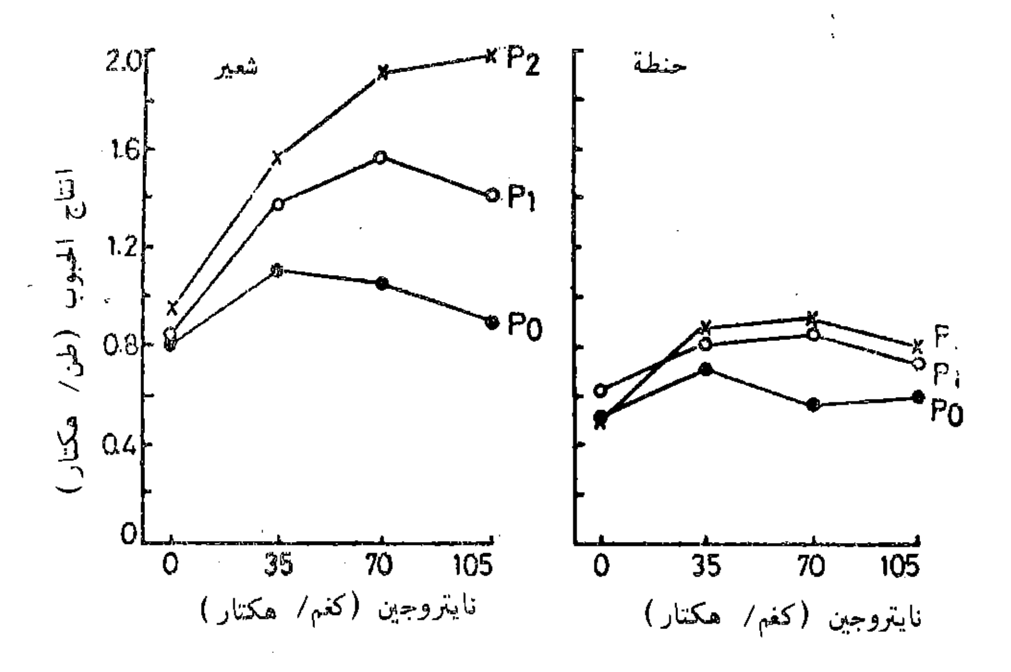
	المعاملات المعاملة القياسية مستوى الفسفور الواطيء	Control مستوى الفسفور العالي	اضافة املاح مستوى الفسفور الواطيء	مستوى الفسفور العالي
$\frac{[ATP]}{[ADP]}$	1.0	1.9	1.1	1.8
$\frac{[ATP]}{[ADP] \times [Pi]} \times 10^{3-}$	0.79	0.99	1.45	0.26

جدول (9) تأثير الملوحة على استجابة الذرة الصفراء للتسميد الفوسفاتي

(Nieman & Clark, 1979)

المعاملة	الوزن الطري/ 2 نبات	تركيز الفسفور المعدني [Pi] مايكرمول/ 100 غرام وزن طري
المعاملة القياسية/ المستوى الواطيء من الفسفور	1101	4.7
المستوى العالي من الفسفور	2259	13.6
المعاملة الملحية/ المستوى الواطيء من الفسفور	549	28.4
المستوى العالي من الفسفور	252	37.5

وقد اشار (Orphanos, 1983) الى ان للتسميد النايتروجيني تأثيراً إيجابياً على كفاءة استجابة المحاصيل للفسفور (الشكل 11). يشجع النايتروجين نمو المجموع الجذري وبذلك تزداد قدرته للوصول الى مواقع الفسفور الذي يمتاز بقلة حركته في التربة.



الشكل (11) تأثير اضافة النايتروجين على استجابة محصولي الحنطة والشعير للفسفور **(Orphanos, 1983)**.

اعراض نقص الفسفور

يعدُّ الفسفور عنصراً متحركاً داخل النبات لذا فإن اعراض نقصه تظهر على الاوراق القديمة اولاً . وتمتاز الاعراض اللونية باصفرار الاوراق مع تحول اللون الى ارجواني محمر وغالباً مايتلون الساق بلون احمر أو قرمزي بسبب تكوين صبغة anthocyanin .

إن نقص الفسفور يعني نقص الطاقة اللازمة لمختلف العمليات الحيوية مما ينعكس ذلك سلباً على عمليات مهمة مثل تكوين البروتينات والاحماض النووية nucleic acids ، وهذا بالطبع له تأثيره على النمو . إن نقص الفسفور يؤدي الى صغر الساق ونحافته وصغر الاوراق مما يؤدي ذلك الى تحديد النمو وبذلك تكون نسبة $\frac{\text{وزن الجزء الخضري}}{\text{وزن الجذور}}$ قليلة . كمايساهم نقص هذا العنصر في خفض انتاج الثمار والحبوب وهذا يؤكد أنَّ النقص يؤدي الى تأخر النمو ورداءة النوعية . وغالبا مايكون محتوى الفسفور في المادة الجافة لنبات يعاني من النقص أقل من 0.1%.

وإن الكمية المعبرة عن حدود الكفاية تختلف وفقاً لنوع النبات ومراحل النمو . وبشكل خاص فإن محتوى اجزاء النبات من الفسفور يقل مع تقدم النبات بالعمر . وجدول (10) يبين الحدود المختلفة لمحتوى بعض النباتات من الفسفور في مراحل نمو محددة .

جدول (10) الحدود المختلفة لمحتوى بعض النباتات من الفسفور

	نقص	قليل	كفاية	عالي	سمية
اوراق الذرة الصفراء في مراحل النضج	اقل 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.5-0.8	اكبر من 0.8
اوراق التفاح	–	أقل من 0.15	0.15-0.3	اكبر من 0.3	

الاسمدة الفوسفاتية

يعتبر صخر الفسفور rock phosphate المصدر الاساسي في صناعة معظم الاسمدة الفوسفاتية . وكما هو معروف فإن هذا المصدر يتوفر بالتربة بصورة متعددة هي كاربونات وكلوريدات وفلوريدات وهايدروكسيدات الاتبايت $Ca_{10}(PO_4)_6$ $[CO_3(F, Cl, OH)_2]$. والاساس العـــام في استخـــدام هـــذا المصـــدر لغرض تصنيع الاسمدة يبنى على تحطيم أوآصر الابتايت apatite bonds إما بمعاملته بالحامض وإما بالتسخين وبذلك يتحول الفسفور الى صورة اكثر ذوباناً . وسنحاول مناقشة خصائص الاسمدة الفوسفاتية الشائعة الاستعمال وطريقة صناعتها وهي : —

1- حامض الفسفوريك phosphoric acid

يصنع حامض الفسفوريك من معاملة صخر الفوسفات مع حامض الكبريتيك المركز ويطلق على هذه بالطريقة الرطبة Wet Process أو الحامض الأخضر green acid كما تصفه المعادلة الآتية طبيعة التحضير :

$$Ca_{10}F_2(PO_4)_6 + 10H_2SO_4 + 20H_2O \longrightarrow \underset{\text{جبس}}{10CaSO_4 \cdot 2H_2O} + 2HF + 6H_3PO_4$$

ويمتاز الحامض المحضر بهذه الطريقة بلونه الأخضر لاحتوائه على شوائب مثل الفانيديوم Vanadiume . يعزل الجبس بالترشيح ويبقى الحامض المخفف بمحتوى $32\%\ P_2O_5$ وقد يركز بالتبخير الى ($52-55\ \%PO_5$) وحديثاً تم تصنيع هذا السماد بصورة اكثر تركيزاً ليكافيء ($80-83\ \%\ P_2O_5$) .

ومن أهم ميزات هذا السماد هو رخص وحدة خامس اوكسيد الفسفور المصنعة كما يستخدم في صناعة الاسمدة المختلفة وبالأخص الاسمدة النايتروجينية التي تحتوي على صورة الامونيوم مثل سماد بولي فوسفات الامونيوم ammonium polyphosphate وبعض الاسمدة السائلة .

3- سماد السوبرفوسفات العادي Ordinary Superphosphate

يصنع هذا السماد من اذابة صخر الفوسفات بواسطة حامض الكبريتيك المركز إذ سيتكون خليط من فوسفات احادي الكالسيوم والجبس كالآتي

$$\underset{\text{صخر الفوسفات}}{Ca_{10}(PO_4)_2F_2} + 7H_2SO_4 + 3H_2O \longrightarrow 3Ca(H_2PO_4)_2.H_2O + \underset{\text{جبس}}{7CaSO_4} + 2HF$$

يحتوى هذا السماد على 7-9.5% فسفور أي 16-22% خامس اوكسيد الفسفور وحوالي 90% من محتواه الفوسفاتي ذائباً بالماء أي بحالة جاهزة ، ويحتوي ايضاً على نسبة من الجبس تتراوح بين 8-10% ، لذا يفضل اضافته الى الترب الفقيرة بالكبريت أو الترب الصودوية Sodic Soils ويستخدم هذا السماد غالباً في الخلط مع الاسمدة الأخرى النايتروجينية والبوتاسية لتصنيع الاسمدة المركبة وفقاً للنسب المطلوبة تعاد تركيبة الخليط بأضافة مواد مساعدة للتبلور .

4- سماد السوبرفوسفات المركز (الثلاثي)
Concentrated superphosphate (triple) fertilizer

يصنع هذا السماد من تفاعل صخر الفوسفات مع حامض الفسفوريك الابيض (White acid) . ويحتوي هذا السماد على 19-23% فسفور اي حوالي 44-52% خامس اوكسيد الفسفور وحوالي 95-98% منه ذائب بالماء ويمكن تصنيفه بالكمية الجاهزة . ولقد بدأت صناعة هذا السماد في الولايات المتحدة الامريكية في عام 1900م ولكن لم ينتشر بشكل واسع حتى عام 1930م . يحتوي هذا السماد على

أقل من 3% كبريت وهذه الكمية بالطبع غير كافية لتجهيز النبات النامي في الترب الفقيرة بالكبريت . إن هذا السماد يضاف بهيئة حبيبات الى التربة مباشرة وقد يخلط مع مواد لاحمة ليكون بلورات ذات احجام مختلفة . ويختلف محتوى مكونات هذا السماد وفقاً لطريقة التصنيع ، فقد اشار (Sauchelli, 1965) في كتابه Phosphates in Agriculture الى معدل مكونات سماد السوبرفوسفات الثلاثي (جدول 11) المصنع في الولايات المتحدة الامريكية .

جدول (11) معدل مكونات (%) سماد السوبرفوسفات المركز

المكونات			%
فوسفات احادي الكالسيوم	ذائبة بالماء	الفسفور	62-73
فوسفات ثنائي الكالسيوم (بالاضافة	غير ذائبة بالماء	الجاهز	13-18
الى معقدات الالمينوم والحديد الفوسفاتية)			2-5
حامض الفسفوريك			
الفسفور الخامل unreacted P			2-6
جبس		الفسفور	3-6
سيليكا ـ مادة عضوية ـ فلوريد السيليكون		غير الجاهز	3-6
الرطوبة			3-6

ويستخدم هذا الحامض بغض النظر عن محتواه من الشوائب في صناعة الاسمدة الفوسفاتية . وقد يستخدم مباشرة كسماد يضاف الى الترب المختلفة الخصائص . وغالباً مايفضل إضافة هذا الحامض بهيئة جور band الى الترب الكلسية Calcareous soils وبذلك يساعد بنفس الوقت على زيادة جاهزية بعض العناصر الغذائية الصغرى مثل الزنك والحديد والمنغنيز من خلال تأثيراته على pH التربة . هذا مع كونه سماداً سائلاً يمكن استخدامه بسهولة بعد الزراعة . وعند مقارنته مع الاسمدة الفوسفاتية الأخرى نجد الكثيرين يتعاملون بحذر في اضافته للترب واعتماده كسماد جيد ومناسب لمختلف الترب والظروف .

وقد يحضر هذا الحامض من حرق عنصر الفسفور elemental-P في فرن كهربائي فيتأكسد الى خامس اوكسيد الفوسفات بالتفاعل مع الماء ، ويطلق على الحامض المحضر بهذه الطريقة بالحامض الابيض White acid مع الماء ، ويطلق على الحامض المحضر بهذه الطريقة بالحامض الابيض White acid بسبب عدم وجود الشوائب ويستخدم هذا الحامض غالباً في صناعة الاسمدة السائلة كما يمكن

ايضاً اضافته الى التربة مباشرة وبالاخص الترب الكلسية والقاعدية بالرغم من الاحتياج الى قدرة فنية خاصة .

2- حامض السوبرفوسفات Superphosphate acid

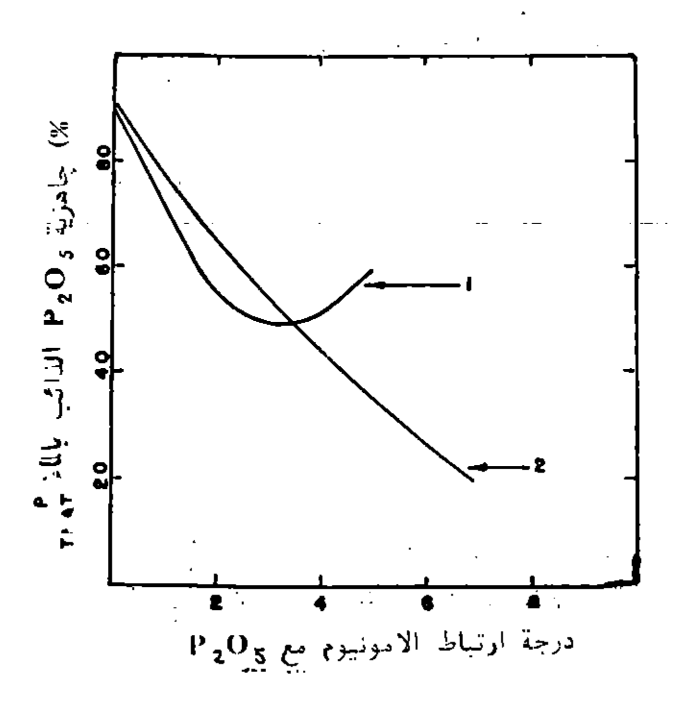
يصنع هذا السماد من تبخير حامض الفوسفوريك الابيض White acid وتركيزه ولذلك يحتوي على (33-37% P أي 76-85% P_2O_5) . وقد يصنع من حامض الفوسفوريك الأخضر الرخيص (green acid) ولذلك يحتوي على (52-55% P_2O_5) .

5- سماد السوبرفوسفات المشبع Enriched superphosphate

يصنع هذا السماد من معاملة صخر الفسفور مع خليط من حامض الكبريتيك والفسفوريك . ويحتوي هذا السماد على 11-13% فسفور اي حوالي 25-30% خامس اوكسيد الفسفور وحوالي 90-95% ذائب بالماء . ويمكن اعتبار هذا السماد خليط من فوسفات احادي الكالسيوم والجبس وقد تصل نسبة محتوى الأخير الى 50% .

6- سماد سوبرفوسفات الأمونيوم Ammoniated Superphosphate

يصنع هذا السماد من معاء مونيا السائلة مع إما سماد السوبرفوسفات العادي او الثلاثي وبهذا ترتبط الامونيا بدرجات مختلفة بوحدات السماد ، ولهذا تأثير على محتوى الفسفور الذائب بالماء ويكون محتوى الفسفور الذائب بالماء من السماد المصنع مع السوبرفوسفات الثلاثي اكثر من محتوى السماد المصنع مع السوبرفوسفات العادي غالباً (الشكل 12) .



الشكل (12) تأثير درجات ربط الامونيا على اذابة السوبرفوسفات بالماء (1) الثلاثي (2) العادي **(Sauchelli, 1965)** .

7- سماد فوسفات احادي الامونيوم **Monoammonium phosphate**

يصنع هذا السماد من معاملة الامونيا مع حامض الفسفوريك وفقاً للآتي

$$NH_3 + H_3PO_4 \longrightarrow NH_4H_2PO_4$$

وهذا السماد ذائب بالماء وله تأثير حامضي على التربة بسبب محتواه من الامونيا . يحتوي هذا السماد على 11% نايتروجين و 48% خامس اوكسيد الفسفور (21% فسفور) اي أن الصيغة العامة لهذا السماد هي 11:48:0 . يضاف هذا السماد مباشرة للتربة بهيئته المصنعة على شكل حبيبات granular form . وقد يصنع بهيئة سائل ويضاف مع ماء الري .

8- سماد فوسفات ثنائي الامونيوم **Diammonium phosphate**

يصنع هذا السماد من معاملة الامونيا مع حامض الفسفوريك وفقاً للآتي :

$$2NH_3 + H_3PO_4 \longrightarrow (NH_4)_2HPO_4$$

وهذا السماد ذائب بالماء ويحتوي على 16% نايتروجين و 48% خامس اوكسيد الفسفور (21% فسفور) والصيغة العامة 16:48:0 . يضاف هذا السماد مباشرة الى التربة وهو ذو تأثير متعادل على التربة لذا فإنه يمكن ان يضاف وقت الزراعة خلطاً مع البذور . وسنحاول التطرق لتفاعلات هذه الأسمدة لاحقاً وذلك لأهميتها وكثرة استعمالها .

وقد تصنع اسمدة اخرى من تفاعل الامونيا مع الحوامض المركزة واهمها سماد فوسفات وكبريتات الامونيوم Ammonium phosphate-sulphate الذي يصنع من معاملة الامونيا مع خليط من حامض الكبريتك والفسفوريك ليكون السماد الذي يحتوي على 20% خامس اوكسيد الفسفور (8.6% فسفور) و 16% نايتروجين اي يمثل الصيغة التالية (16:20:0) وهو سماد ذائب بالماء .

9- سماد فوسفات النتريك Nitric phosphate

يصنع هذا السماد من تفاعل حامض النتريك مع صخر الفوسفات ثم تضاف الى النواتج المتكونة كمية من حامض الكبريتك او الفسفوريك او املاح الكبريتات وذلك لمنع التأثير التميئي لناتج التفاعل الاولي نترات الكالسيوم وتحويله الى كبريتات الكالسيوم او فوسفات الكالسيوم او يزال الكالسيوم بتفاعله مع ثاني اوكسيد الكاربون ليترسب بهيئة كاربونات الكالسيوم . نسبة $N:P_2O_5$ في هذا السماد تتراوح بين 1:1 الى 1:3 وان حوالي 40-60% من الفسفور ذائب بالماء بالمقارنة مع محتوى سماد السوبر فوسفات ويكثر استعمال هذا السماد في أوربا فهو ذو كفاءة عالية في الترب الحامضية .

10- اسمدة فوسفات البوتاسيوم Potassium phosphate

سنحاول هنا جمع اسمدة فوسفات البوتاسيوم وسنركز على سماد فوسفات احادي البوتاسيوم KH_2PO_4 وسماد فوسفات ثنائي البوتاسيوم K_2HPO_4 إذ يحتوي السماد الاول على 22% فسفور و 29% بوتاسيوم (0-52-35) ، اما الثاني فيحتوي على 18% فسفور و 45% بوتاسيوم (0-41-54) . إن هذه الاسمدة ذائبة بالماء ولها اهمية خاصة بسبب محتواها العالي من الفسفور والبوتاسيوم .

سنكتفي بهذا العدد من الاسمدة الفوسفاتية رغم وجود انواع اخرى بعضها شائعة التداول مثل سماد فوسفات ثنائي الكالسيوم Dicalcium phosphate fertilizer والاسمدة الفوسفاتية المركبة (بالاشتراك مع النايتروجين او البوتاسيوم او عناصر غذائية اخرى) . كما تتوفر بعض الاسمدة الفوسفاتية البايلوجية مثل

Phosphobacterin وهي عبارة عن احياء تربة دقيقة Soil microorganisms تساهم في زيادة جاهزية الفسفور الاصلي بالتربة أو المضاف. أما اسمدة polyphosphate فقد زاد انتشارها مؤخراً في اوربا وذلك لمحتواها العالي من الفسفور ولكفائتها ومن هذه الاسمدة سماد Calcium polyphosphate و Ammonium polyphosphate.

تفاعلات الأسمدة الفوسفاتية

سنتناول تفاعلات بعض الأسمدة الفوسفاتية الشائعة الاستعمال مع إيضاح بالامثلة لتأثير بعض خصائص الترب على سير التفاعل ونواتجه.

1- تفاعل سماد السوبرفوسفات العادي والمركز

إن الوحدة الرئيسية في سماد السوبر فوسفات هي فوسفات احادي الكالسيوم [monocalcium phosphate $Ca(H_2PO_4)_2 . H_2O$]. ودعنا نفترض ان جيبة السماد قد أضيفت الى سطح التربة (الشكل 13) فسنجد أن الماء يتحرك الى جيبة السماد من الوسط المحيط بالجيبة مما يؤدي الى ذوبان الوحدة الرئيسية للسماد monocalcium phosphate (MCP). وينطلق المحلول المتكون من داخل الجيبة الى الوسط المحيط مما يعمل على اذابة بعض مكونات التربة وتحرير ايونات موجبة مختلفة ويرجع سبب ذلك الى الحموضة العالية ($pH = 1.48$) التي يمتاز بها المحلول الذي يطلق عليه metastable friple point solution (MTPS) أي المحلول غير المستقر ويصفه البعض بإنه حامض الفسفوريك ناتج التفاعل الثاني عبارة عن راسب من فوسفات ثاني الكالسيوم Dicalcium phosphate dihydrate (DCPD). ويمكن وصف التفاعل بالآتي: —

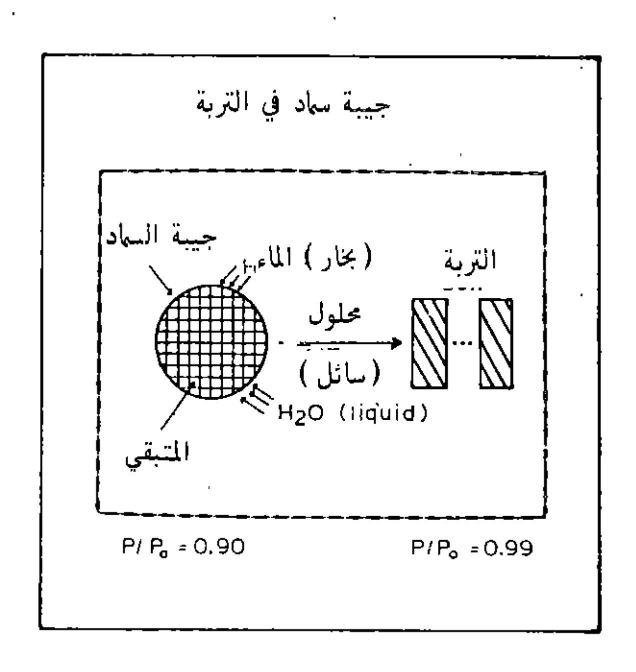
$$Ca(H_2PO_4)_2 . H_2O + H_2O \longrightarrow CaHPO_4 . 2H_2O + MTPS$$

كما يمكن أن تكتب كالآتي

$$Ca(H_2PO_4)_2 . H_2O + H_2O \longrightarrow CaHPO_4 . 2H_2O + H_3PO_4$$

وبعد فترة زمنية قصيرة يتحول التفاعل السابق ليكون النواتج الآتية

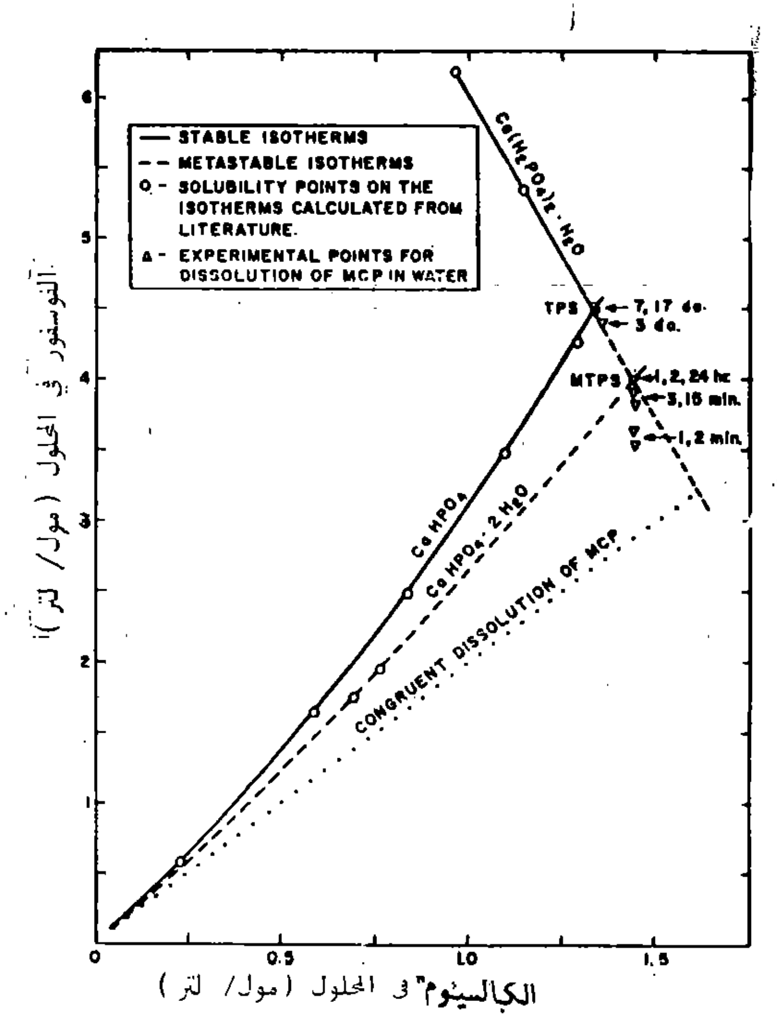
$$CaHPO_4 . 2H_2O + XH_2O \longrightarrow CaHPO_4 + TPS$$



الشكل (13) تحلل جيبة سماد السوبرفوسفات وتكوين MTPS و DCPD .

إذ TPS عبارة عن (Stable Triple point solution) وإن قيمة pH هذا المحلول بحدود 1.01 وان x تمثل عدد جزيئات الماء اللازمة للتفاعل والتي لا تتجاوز 13.3 مول مكافئة الى مول واحد من DCPD . وقد اوضح (Lindsay and Stephenson, 1959) بأنَّ التفاعل الاول يتكون بعد ساعة واحدة وتبقى كحد ادنى لمدة اكثر من 24 ساعة ثم يتحول ببطىء ليكون TPS وهذا المحلول الحامضي يبقى ثابتاً لفترة تزيد عن 17 يوماً كما يوضح ذلك الشكل (14) .

ولو حاولنا أن نميز بين تركيب (MTPS) وبين (TPS) فإنه يمكن الرجوع الى النتائج التي توصل اليها (Lindsay & Stephenson, 1959) الموضحة في (جدول 12) . وقد يوصف المحلول (MTPS) بأنه عبارة عن حامض الفسفوريك المتحرر من التفاعل وان تكوين (TPS) يعني تحرير المزيد من حامض الفسفوريك مما يساهم في خفض pH الوسط الى 1.01 .



الشكل (14) منحنى اذابة وتحلل MCP في نظام $CaO - P_2O_5 - H_2O$ عند درجة 25 م (Lindsay & Stephenson, 1959).

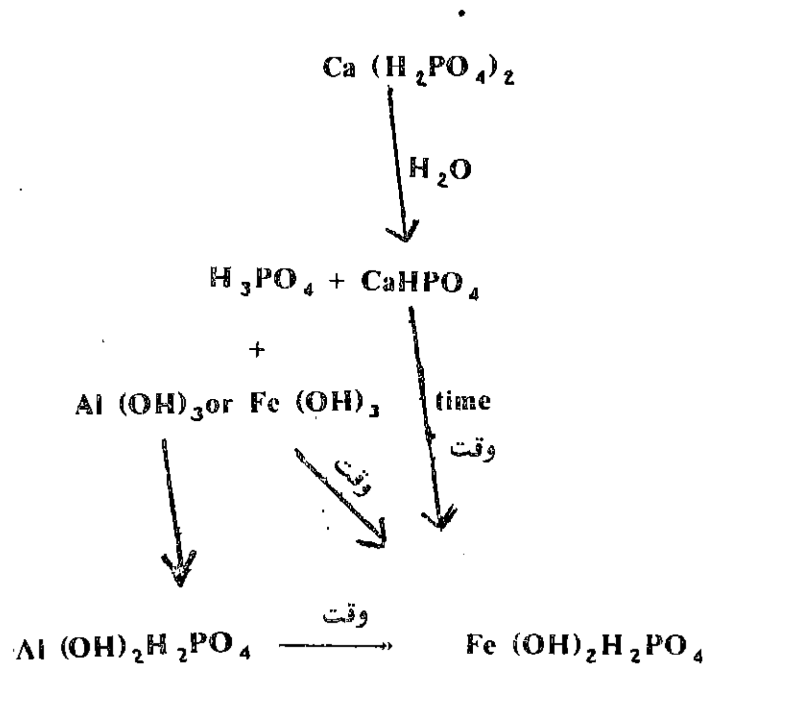
جدول (12) التركيب الكيمياوي الى (MTPS) و (TPS).

المركب	pH	P	Ca
		التركيز (مول/ لتر)	
MTPS	1.48	3.98	1.44
TPS	1.01	4.49	1.34

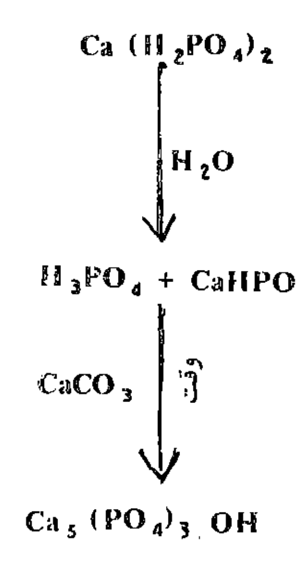
لقد درس (Brown and Lehr, 1959) تفاعل سماد فوسفات احادي الكالسيوم المائية (السوبرفوسفات) في التربة ووجدا بأن المركبين DCP و DCPD مترسبة في موقع السماد fertilizer site . وإن المركب DCPD اكثر ذوباناً من DCP ، كما لاحظا أنَّ الحموضة العالية نتيجة تكوين (MTPS) و (TPS) تتحرك في التربة وتؤدي الى اذابة الكثير من العناصر المعدنية مثل Ca و Mn و Al و Fe وهذه بالتالي تتفاعل مع الفسفور مكونة رواسب مختلفة وقد أيد هذا الرأي (Lindsay et al. 1959) . لقد أختبرنا تفاعل سماد السوبرفوسفات (Awad, 1985) في تربة رسوبية (25% كاربونات الكالسيوم) وتربة صحراوية (14% كاربونات الكالسيوم) فأوضحت نتائج تفاعلات الاذابة ، انه مع زيادة مستوى الفسفور المضاف (من 0 ←— 400 كغم $P O_5$ / هكتار) .

تكون صورة فوسفات ثنائي الكالسيوم هي الصورة الرئيسية المتحكمة في ذوبان الفسفور بالترب المدروسة وتتحول هذه الصورة مع مرور الوقت الى صورة فوسفات ثماني الكالسيوم . إن احتمال تكوين صورة الهايدروكسي ابتايت خلال سلسلة التفاعل احتمال ضعيف ويرجع السبب الى بطىء معدل تكوينها تحت ظروف التجربة (الشكل ـ 4 والشكل ـ 5) . وتعتبر صورة فوسفات ثنائي الكالسيوم الناتج الرئيسي في جميع الترب التي عوملت بمستوى عالٍ من الفسفور (4000 كغم P_2O_5 / هكتار) وإن مقاومة هذه الصورة عالية للبقاء في الترب القليلة المحتوى من الاملاح أو الكاربونات الصلبة كما أن اضافة مادة الجبس بعد ازالة الاملاح من الترب يخفض الى حد ما اذابة الفسفور مقارنة بنفس المعاملة ولكن بدون اضافة الجبس الى نفس الترب المغسولة .

لقد لاحظ (Lehr and Brown, 1958) إن ناتج التفاعل الرئيسي في الترب الكلسية هو فوسفات ثنائي الكالسيوم الذي سرعان ما يتحول الى صور أخرى أقل ذوباناً مع الوقت . وقد تبين التفاعلات التالية هي السائدة في ظروف التجربة و OCP ——» HAP. MCP ——» DCPD; DCPD ——» DCPA و DCPD ——» OCP; DCPD ——» HAP وهنالك العديد من الدراسات في الترب الكلسية Calcareous soils والترب المتعادلة والقلوية والحامضية ايضاً التي تبين طبيعة تفاعلات سماد السوبرفوسفات وأشار (Thomas & Peaslee, 1973) الى نمط هذه التفاعلات الشكل (15)



(أ) الترب المتعادلة والحامضية Acid and Neutral Soils



(ب) الترب الكلسية Calcareous Soils

الشكل(15) تفاعلات فوسفات احادي الكالسيوم (أ) في الترب الحامضية والمتعادلة و (ب) الكلسية .

2- تفاعلات أسمدة فوسفات الامونيوم

سنركز هنا على تفاعلات بعض الأسمدة التي تحتوي على النايتروجين بصورة امونيوم وعلى الفسفور مثل سماد فوسفات ثنائي الامونيوم وفوسفات احادي الامونيوم وغيرها من الأسمدة المركبة المصنعة من الوحدتين المذكورة اعلاه. وبشكل عام فإن دراسة تفاعل مثل هذه الأسمدة يتطلب دراسة العلاقة بين تدهور الفسفور وتطاير الامونيا بالاضافة الى خصائص السماد الأخرى والتي لها تأثير جوهري على نواتج تفاعل السماد المضاف.

لنبدأ دراسة تفاعلات سماد فوسفات ثنائي الامونيوم ونشير الى رأي (Fenn & Kissel, 1973) في وصف التفاعل في الترب الكلسية وهي كالآتي:

$$(NH_4)_2HPO_4 + CaCO_3 \rightleftharpoons (NH_4)_2CO_3 + CaHPO_4$$

وكما سبق أن اوضحنا بأن الناتج كاربونات الامونيوم قلق ويتحلل وفقاً للآتي:

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons 2NH_3\uparrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$\downarrow\uparrow$$

$$2NH_4OH$$

وبهذا لابد من مناقشة العلاقة بين تدهور الفسفور بعد تكوين DCPD وتطاير الامونيا بعد تكوين كاربونات الامونيوم بعد الافتراض وإن ماأورده (Fenn & Kissel 1973) من وصف للتفاعل صحيح خصوصاً وإن الباحثين اشارا الى أن معدل تطاير الامونيا بعد ساعة واحدة من اضافة السماد للتربة كان 1.8% وقد ارتفعت النسبة بعد 100 ساعة لتكون 51% من الكمية الكلية المضافة. وقد اكد (Fenn & Escarzaga, 1976) ظاهرة التطاير للامونيا من سماد فوسفات ثنائي الامونيوم وكذلك فوسفات احادي الامونيوم. وقد حاولنا دراسة العلاقة بين تطاير الامونيا وتركيز الفسفور الذائب في ترب مختلفة المحتوى من كاربونات الكالسيوم أيضاً (جدول 13 ;Awad, 1978). وتشير النتائج الى أنَّ اضافة السماد الى السطح يؤدي الى زيادة في الامونيا المتطايرة وتركيز الفسفور الذائب اذا قورنت بالاضافة تحت السطحية أو الخلط (الشكل 18).

يمكن القول بأن هنالك علاقة سالبة بين تركيز الفسفور الذائب والامونيا المتطايرة وان هذه العلاقة تتأثر بطريقة إضافة السماد. أما (Terman and Hunt, 1964) فقد اشارا الى تكوين DCPD كناتج لتفاعل سماد فوسفات

الامونيوم ويتحول هذا المركب ليصل في سلسلة تفاعله الى المركب الاكثر استقراراً الذي هو apatite وتلعب الرطوبة دوراً في التأثير على سير التفاعل .

ولابد من القول أيضاً ان سماد فوسفات ثنائي الامونيوم ذو تأثير متعادل على خصائص التربة إذ ان pH المحلول المشبع منه يساوي 7.98 (جدول 13) ولهذا فإننا يجب أن لا نتوقع تكوين العديد من الرواسب بعد إضافة السماد . وللمقارنة مع سماد فوسفات أحادي الأمونيوم الحامضي التفاعل (pH = 4) فإن نواتج تفاعل هذا السماد عديدة بسبب اذابته لبعض الكاتيونات . وعند دراسة تفاعلات سماد فوسفات احادي الامونيوم يمكن القول بأن المعادلة السابقة التي وصف تفاعل سماد فوسفات ثنائي الامونيوم يمكن أن تكون معبرة عن طبيعة تفاعل هذا السماد . فقد اشار (Beaton & Read, 1963) الى أن جاهزية الأسمدة تشير وفقاً للترتيب :

فوسفات احادي الامونيوم > فوسفات ثنائي الامونيوم > فوسفات احادي الكالسيوم > فوسفات ثنائي الكالسيوم

كما تبين من العديد من التجارب إن جاهزية DCPD المتكون من تفاعل سماد فوسفات احادي الامونيوم اكثر من جاهزية DCPD المتكون من تفاعل سماد فوسفات ثنائي الامونيوم وقد يرجع سبب ذلك الى تأثير هذه الأسمدة على pH الترب بعد الاضافة . ويعتبر سماد فوسفات احادي الامونيوم أفضل من السماد الثنائي للترب الكلسية رغم كون السمادين بالماء بنفس الدرجة (Tisdale and Nelson, 1975) .

طريقة وموعد اضافة الاسمدة الفوسفاتية

يمكن تقسيم الاسمدة الفوسفاتية الى ثلاث مجاميع هامة وفقاً لطبيعة اذابتها وهي :

1- الاسمدة الذائبة بالماء (Water soluble) .
2- الاسمدة البطيئة الذوبان بالماء ولكن تذوب في محلول السترات (Citrate-soluble phosphates)
3- الاسمدة البطيئة الذوبان بالماء والسترات

وينظر للاسمدة الذائبة بالماء وبمحلول السترات بإنها تمثل الصور الجاهزة للفسفور ولكن قدرة النباتات على الاستفادة من هذه الصور تحددها ظروف أخرى مثل

جدول (13) العلاقة بين تركيز الفسفور في محلول التربة وتطاير الامونيا بعد إضافة سماد فوسفات ثنائي الامونيوم لتربتين ذات محتوى مختلفمن كاربونات الكالسيوم (Awad, 1978) .

التربة	السماد	الزمن (ساعة)	الامونيا المفقودة (%)	الرطوبة (%)	pH	الفسفور الذائب ppm
المزيجية الطينية	فوسفات ثنائي	10	2.1	21.3	8.59	76.7
39% $CaCO_3$	الامونيوم	20	4.6	18.7	8.51	66.7
	(4900) جزء في المليون	30	7.4	14.5	8.31	61.7
	فسفور	40	9.7	9.8	8.27	59.1
		50	11.3	5.4	8.28	39.1
		60	14.8	3.5	8.39	33.3
الرملية المزيجية	فوسفات ثنائي	10	0.1	34.1	8.21	462.5
	الامونيوم	20	0.6	32.0	8.19	400.0
41% $CaCO_3$						
	(4900) جزء	30	1.6	28.4	8.13	311.3
	في المليون	40	2.3	24.0	8.19	262.5
		50	3.3	21.3	8.01	203.1
		60	4.2	17.7	7.96	187.5

طريقة اضافة السماد وغيرها . لذا فإن موعد اضافة السماد الفوسفاتي وطريقته يتحدد وفقاً للعوامل الآتية : ـ

1- احتياج النبات وطول موسم النمو
2- طبيعة اذابة السماد .
3- حجم حبيبة السماد
4- الايون المرافق للفسفور
5- خصائص التربة الكيمياوية والفيزياوية

يحتاج النبات الفسفور منذ بداية النمو لمساهمته الفعالة في مختلف العمليات الحيوية . ويستمر الاحتياج حتى تكوين الثمار ودخول النبات مرحلة النضج لاعتباره عاملاً مؤثراً في الاحتياج العام للطاقة وبناء الانسجة المختلفة . ومن المعروف عادة إن الاسمدة الفوسفاتية تضاف قبل الزراعة بفترة قصيرة تجاوزاً للاضرار السلبية التي قد يؤثر ناتج تفاعل السماد مثل MTPS الحامضي على البذور أو أي جزء من النبات . ويمكن أن يضاف سماد السوبرفوسفات المركز أو غيره من الاسمدة بعد الزراعة ولكن يحتاج هنا الخبرة الدقيقة لتجاوز الاضرار الجانبية على النبات . ووفقاً لنوع المحصول وطول موسم النمو يتحدد وقت إضافة السماد بالاضافة الى تأثير طبيعة اذابة السماد وحجم حبيباته وخصائص التربة وماتحتويه من مكونات تساهم في تدهور السماد . وغالباً ماتضاف الاسمدة الفوسفاتية دفعة واحدة قبل الزراعة وقد تضاف كميات محددة بعد الزراعة لمعالجة ظواهر النقص .

اشار بعض الباحثين الى إن معدل احتياج النبات للفسفور خلال فترة حياته لا تتجاوز ١ كغم فسفور/ هكتار/ يوم . وإن محتوى التربة من الفسفور الجاهز وقدرة التربة التنظيمية للفسفور Phosphate buffering Capacity وكذلك قدرة التربة على المحافظة على الفسفور المضاف بصورة جاهزة (أي خصائص التربة المؤثرة على جاهزية الفسفور) تحدد الكمية المطلوب إضافتها بعد تحديد نوع المحصول وفترة نموه . وبشكل عام يضاف 10-50 ٪ من الاحتياج المطلوب غالباً الى أي محصول كمحاولة لتعويض الكمية التي تتدهور بفعل التفاعل مع مكونات التربة .

وعموماً فإن 20-80 كغم فسفور/ هكتار هي الكمية التي تضاف وفقاً لنوع المحصول . فغالباً ماتحتاج البقوليات والحبوب والبنجر السكري الى كمية كبيرة من الفسفور بالمقارنة مع القطن والتبغ واشجار الفاكهة . وإن اضافة كمية كبيرة من الفسفور الى البطاطا يحسن خواص الدرنات .

في الترب الكلسية يفضل اختيار الاسمدة الفوسفاتية العالية الذوبان بالماء والمصنعة بشكل حبيبات كبيرة نسبياً ، كما يحذر إضافتها خلطاً مع التربة لتجاوز حالة التدهور السريع للسماد وقد اشارت الابحاث الى أفضلية إضافة مثل هذه الاسمدة بطريقة التلقيم band الى جانب النبات أو تحته بالمقارنة مع طرق الاضافة الأخرى . وقد يفضل ايضاً اضافة الاسمدة الذائبة (أقل من 50%) بالماء لمثل هذه الترب بالأخص عندما يكون موسم النمو طويلاً ولا يفضل اختيار الاسمدة المصنعة بهيئة مسحوق والعالية الذوبان الا اذا كان موسم النمو قصيراً ولهذا يمكن استخدام طريقة التلقيم لتقليل حالة الفقد بالترسيب .

وفي الترب الحامضية ذات المحتوى العالي من الاكاسيد والهايدروكسيدات الحرة يفضل اختيار الاسمدة القليلة الذوبان بالماء وإن اختيار الاسمدة الاخرى يتطلب اتباع طريقة مناسبة كالجور لتقليل حالة الفقد بالترسيب ، أو أضافة الاسمدة المصنعة بهيئة حبيبات كبيرة نسبياً . ويمكن القول إن صغر الحجم يؤدي الى زيادة قابلية السماد للذوبان بسبب زيادة المساحة السطحية المعرضة للتفاعل ، لذا فإن اختيار الطريقة المناسبة والسماد المناسب لأي تربة تتحدد من قبل خصائص السماد والتربة ونوعية المحصول المزروع . ويوضح جدول (14) تأثير حجم حبيبة السماد ونوعيته على امتصاص الفسفور من قبل محصول الشوفان .

جدول (14) تأثير حجم حبيبة السماد ونوعيته على امتصاص الفسفور من قبل محصول الشوفان (Bouldin et al. 1960) .

اسم السماد / حجم الحبيبة ملم	2.0-1.2	0.59-0.42	0.30-0.25
فوسفات احادي الامونيوم	608	423	331
فوسفات ثنائي الكالسيوم	30	90	136

ومن هذه النتائج يمكن التأكيد من جديد إن الاسمدة العالية الذوبان بالماء مثل سماد فوسفات احادي الامونيوم تقل جاهزيتها مع صغر حجم حبيبة السماد المضاف ، لذا يفضل اختيار الإسمدة المصنعة بهيئة حبيبات كبيرة نسبياً . وأما الاسمدة القليلة الذوبان بالماء مثل سماد فوسفات ثنائي الكالسيوم فإن اختيار الاسمدة المصنعة بهيئة حبيبات صغيرة أو مساحيق تزيد من كفائتها وقدرة النبات على امتصاص الكمية الذائبة منه التي تزداد مع صغر الحجم .

قائمة المصادر

1- Abdul-Latif, H. (1975) Ph. D. Thesis, Assiut University EGYPT.

2- Adepetu, J.A. (1983) In the 6th International Scientific Conference P. 211.

3- Amer, F.; Mahdi, S. and Al Radi, A. (1969) J. Soil Sci. 20: 91-100.

4- Anderson, G. (1969) In Soil Biochemistry. PP. 67-90. Dekker, New York.

5- Awad, K.M. (1982) Ph. D Thesis. Aberdeen University UK.

6- Awad, K.M. (1985) J. Agr. and Water Reso. Resea. 4: 48-53.

7- Bates, J.A.R. and Baker, T.C.N. (1960) J. Soil Sci. 11: 257-265.

8- Beaton, J.D. and Read, D.W.L. (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 61-65.

9- Black, C.A. (1968) Soil-plant relationship. pp. 558-653. 2nd ed. Wiley, New York.

10- Brown, W.E. and Lehr, J.R. (1959) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 7-12.

11- Buehrer, T.F. (1932) Arizona University Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 42.

12- Cole, C.V.; Olsen, S.R. and Scott, C.O. (1953) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17: 352-356.

13- Douglas, H.W. and Walker, R.A. (1950) Trans. Faraday Soc. 46: 559-568.

14- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1973) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 855-859.

15- Goldschmidt, V.W. (1954) Geochemistry (oxford Univ. Press) London.

16- Griffin, R.A. & Jurinak, J.J. (1973) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 847-850.

17- Hendrix, J.E. (1967) Amer. J. Bot. 54: 560-564.
18- Holford, I.C.R. and Mattingly, G.E.G. (1975) J. Soil Sci. 26: 407-417.
19- Hougland, G.V.C. (1947) J. Agr. Res. 75: 1-18.
20- Jackson, P.C. and Hagen, C.E. (1960) Plant Physiol. 35: 326-332.
21- Jasim, K.K. (1978) M.Sc. Thesis Sula University.
22- Juo, A.S.R. and Boyd, E.G. (1967) Soil Sci. 106: 374-378.
23- Kaila A. (1963) Soil Sci. 95: 38-44.
24- Lehr, J.R. and Brown, W.E. (1958) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 29-32.
25- Lehr, J.R. and van Wesenal, J. ch. (1952) J. Soil Sci. 3: 125-153.
26- Lindsay, W.L. (1979) Chemical eqwilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.
27- Lindsay, W.L. & Stephenson, H.F. (1959) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23. 12-18.
28- Lipman, J.G. & Conybeare, A. (1939) New Jersey Agr. Exp. Stat. Bull. 607.
29- Mattson, S., Alvasaker, E., Koulter-Anderson, E. and Vehtrus, K. (1951) Ann. Roy. Agr. Coll. Sweden 20: 19-50.
30- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principle of Plant Nutrition. Int. Potash Inst.
31- Metson, A.J. (1961) New Zealand Dept. Soil & Indus. Reser. Soil Ball. No. 12.
32- Moreno, E.C.; Brown, W.E. & Osborn, G. (1960) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24- 99-109.
32b- Mott, C.J.B. (1970) Annu. Rev. Phyto. Pathol. 11: 171-196.
33- Nelson, W.L.; Mehlich, A. and Winter, E. (1953) In Agronomy Monograph No. 4. pp. 153-188. Academic Press.

34- Nieman, R.H. and Clark, R.A. (1976) Plant Physio. 57, 157-161.

35- Noggle, J.C. and Fried, M (1960) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 33-35.

36- Olsen, S.R. (1953) Agron. J. 4: 89-122.

37- Orphanos, P.I. (1983) 2n 6th International Sci. conf. p. 239.

38- Pagel, H. (1983) In 6th Inlernational Sci. Conf. P. 165.

39- Peroott, K.W. (1979) Soil & fertilizers 42: 224.

40- Power, J.F., Grunes, D.L.; Reichman, G.A. and Willis, W.O. (1963) Agron. J. 56: 545-548.

41- Rajan, S.S.S. and Fox , R.L. (1972) Comman. in Soil Sci. Plant Anal.

42- Russel, E.W. (1973) Soil condition & Plant growth

43- Ryden J.C., Mclaughlin, J.R. and Syers, J.K. (1977) J. Soil Sci. 28: 72-92.

44- Ryden, J.C. and Syers, J.K. (1975) J. Soil Sci. 26: 395-406

45- Sauchelli, V. (1965) Phosphates in Agriculture. Reinhold Publ. Co., New York.

46- Specht, R.L. (1963) Austr. J. Bot. 11: 67-94.

47- Struthers, P.H. and Sieling, D.H. (1950) Soil Sci. 69: 205-213.

48- Terman, G.L. and Hunt, C.M. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 667-672.

48b- Tisdale, S. & Nelson, W.L. (1975) Soil fertility & fertilizers (3rd ed)

49- Thomas, G.T. and Peaslee, D.E. (1973) Testing Soil for phosphorus. P: 115-132.

50- Thompson, E.J. (1957) M. Sc. Thesis Iowa State University America.

51- Thompson, J.M., Black, C.A. and Zoellner, J.A. (1954) Soil Sci. 77: 185-196.

52- Udo, E.J. and Uzo, F.O. (1972) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 879-883.

53- Walker, R.H. & Brown, P.E. (1966) Soils of Iowa Agric. Expt. Report, 3.

54- Wild, A. (1950) J. Soil Sci. 1: 221-238.

55- Yamashita, S. and Goto, Y. (1963) Soil Sci. Plant Nutr. 9: 202.

الفصل الرابع

البوتاسيوم Potassium

يعتبر عنصر البوتاسيوم من العناصر الغذائية الكبرى التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة تفوق العناصر الغذائية الاخرى عدا النايتروجين ، وقد يفوق احتياجه عنصر النايتروجين في بعض مراحل نمو النبات . إن متوسط محتوى انسجة النباتات قد تصل الى 1.5% وقد تزيد احياناً لتصل الى 8% من الوزن الجاف كما يحصل ذلك في انسجة اوراق نبات التبغ ، وعندما يقل عن هذا المعدل ليصل الى 3% تبدأ اعراض نقص البوتاسيوم على اوراق التبغ . تتحدد أهمية البوتاسيوم من خلال وظائفه الفسيولوجية العديدة بالاضافة لمشاركته الفعالة في عمليات التركيب الضوئي photosynthesis وتكوين البروتينات والكاربوهيدريت وامتصاص الماء والعناصر الغذائية ، لذا فإن وفرته بالتربة بصورة جاهزة للامتصاص من قبل النبات تساهم في زيادة انتاجية المحاصيل .

مصادر البوتاسيوم

يشكل البوتاسيوم 0.3-2.5% من المكونات المعدنية للقشرة الارضية (Lindsay, 1979) ، ويوجد البوتاسيوم في المعادن الاولية primary minerals مثل الفلدسبار feldspars والمايكا Mica ، كما انه يوجد في المعادن الثانوية Secondary minerals التي تشكل نسبة عالية من اجزاء الطين . لذا فان الترب الغنية بالطين عادة تكون غنية بعنصر البوتاسيوم مقارنة بالترب الرملية .

ومن معادن الترب الثانوية الغنية بعنصر البوتاسيوم هي معادن الأليت Illite والفيرمايكوليت Vermiculite والكلورايت Chlorite (جدول 1) . وينطلق البوتاسيوم من هذه المعادن ليستقر في محلول التربة او في مواقع التبادل الايوني على

أسطح غرويات التربة . فقد اشار (Bear, 1964) الى ان الجزء الاكبر من البوتاسيوم يوجد في المعادن الاولية ، وتعتبر الميكا من اهم المعادن في الترب الزراعية المجهزة للبوتاسيوم وهي توجد في الطين بنسبة لا تقل عن 8% . بينما اشار (Kanwar & Erewal, 1967) الا ان نسبة البوتاسيوم الكلي في مفوصولات التربة كما يلي :

الطين > الغريف > الرمل

جدول (1) محتوى المعادن الاولية والثانوية من البوتاسيوم (Scheffer and Schachtschabe, 1976).

المعدن	K_2O
Alkali feldspars	4–15
Ca–Na–feldspars	0–3
Muscovite (K–mica)	7–11
Biotite (Mg–mica)	6–10
Illite	4–7
Vermiculite	0–2
Chlorite	0–1
Montmorillonite	0–0.5

ويعتبر الجزء المعدني المصدر الرئيسي للبوتاسيوم الذي ينطلق خلال عملية التجويه . اما مساهمة الجزء العضوي فهي قليلة جداً ، لذا فان محتوى الترب العضوية من البوتاسيوم واطيء فهو بحدود 0.03% وهذا الرقم ممكن ان يتغير تبعاً لاختلاف محتوى التربة من المادة العضوية (Baden, 1965) .

إن الدراسات حول محتوى الترب العراقية أشارت الى ان الترب غنية في محتواها من البوتاسيوم الكلي ، فقد تراوحت قيمته بين (25.42-37.67) وبين (22.47-35.64) ملي مكافيء /100غم تربة (Hussein, 1982) . في حين وجد (Al-Rubaai, 1984) ان محتوى بعض نماذج من الترب العراقية تراوح بين (27-39) ملي مكافيء /100غرام تربة .

لا يعتمد معدل انطلاق البوتاسيوم من المصادر المعدنية الرئيسية على محتوى البوتاسيوم في المعادن الاولية والثانوية وانما يتأثر باختلاف التركيب البنائي لهذه المعادن وسرعة تجويه هذه المعادن . ويعتبر معدن المايكا اكثر قدرة على تحرر البوتاسيوم من المصادر الاخرى ذات المحتوى العالي من البوتاسيوم مثل الفلدسبار . ويرجع سبب ذلك الى أن تجويه الفلدسبار تكون على السطح الخارجي إذ يتفكك الفلدسبار بعد ذوبانه بالماء والاحماض الخفيفة بصورة سريعة بالمقارنة مع المحاليل الاخرى مما يؤدي الى انطلاق عنصر البوتاسيوم وفقاً للمعادلة التالية :

$$KAlSi_3O_8 + H_2O \longrightarrow KOH + HAlSi_3O_8$$

وهذا التحلل يدفع المواد غير المتحللة Al-Si-O أن تعمل على تكوين اطار يحيط بتجمعات الفلدسبار غير المتحللة مما يعرقل استمرار التجويه . أما ما يحصل لمعدن المايكا فان البوتاسيوم ينطلق دون تكسر بناء المعدن وهذه الحالة تعطي المايكا اهمية كمصدر للبوتاسيوم اللازم لتغذية النبات .

توجد المايكا بالتربة بحالتين هي :

(1) مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا Dioctahedra mica مثل معدن المسكوفايت Muscovite

$$[K_2Al_4Si_6Al_2O_2 20(OH)_4]$$

(2) مايكا ثلاثية الاوكتاهيدرا Trioctahedra mica مثل معدن البايوتايت Biotite

$$(K_2(Mg\ Fe\ Al)_6Si_6Al_2O_2 20 (OH)_4]$$

وقد اشار (Rich, 1972) الى أنَّ قدرة البوتاسيوم على الانطلاق من مايكا ثلاثية الاوكتاهيدرا اكبر من قدرته للانطلاق من مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا وقد علل سبب ذلك بـ :

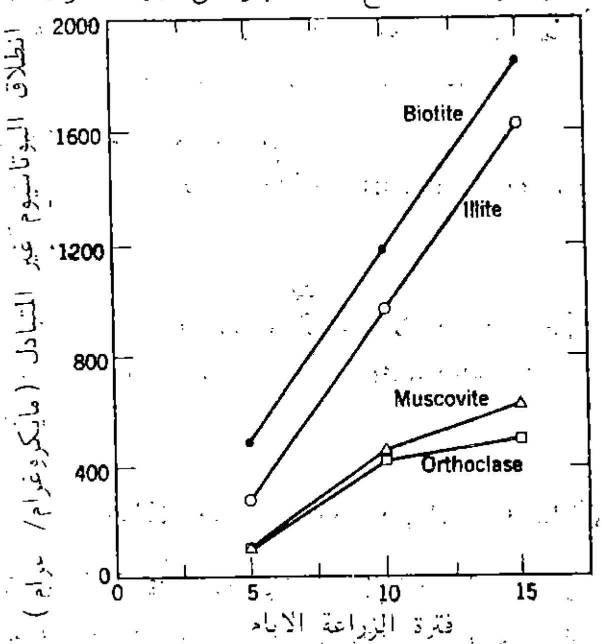
1- القطبية الثنائية لايون (OH^-) الهايدروكسيل

إن ايون الهايدروكسيل المرتبط بايون الالمنيوم يخلق وسطاً اكثر سالبية في معادن مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا مما يساعد على زيادة قوة مسك البوتاسيوم بالمقارنة مع معادن مايكا ثلاثية الاوكتاهيدرا التي تمتاز بان ايون الهايدروجين يكون عمودياً على ايون الاوكسجين ليكون وحدة ايون الهايدروكسيل مما يحجب تاثير الاوكسجين في مسك البوتاسيوم .

(2) ان طبقة الاوكتاهيدرا Octahedral layer مساوية بابعادها لطبقي التتراهيدرا Tetrahedral layers في معادن مايكا ثلاثية الاوكتاهيدرا . بينما تكون طبقات التتراهيدرا اطول من الاوكتاهيدرا في معادن مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا مما تساعد على حجب تحرر البوتاسيوم وعرقلته من بين طبقات معادن مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا . وبهذا تكون قدرة المعادن على تحرر البوتاسيوم كالآتي :

البايوتايت > المسكوفايت > الفلدسبار

وقد اكد (Verma, 1963) اختلاف قدرة معادن المايكا فيما بينها في تحرر البوتاسيوم من جهة ومقارنة ذلك مع الفلدسبار من جهة اخرى (الشكل 1) .



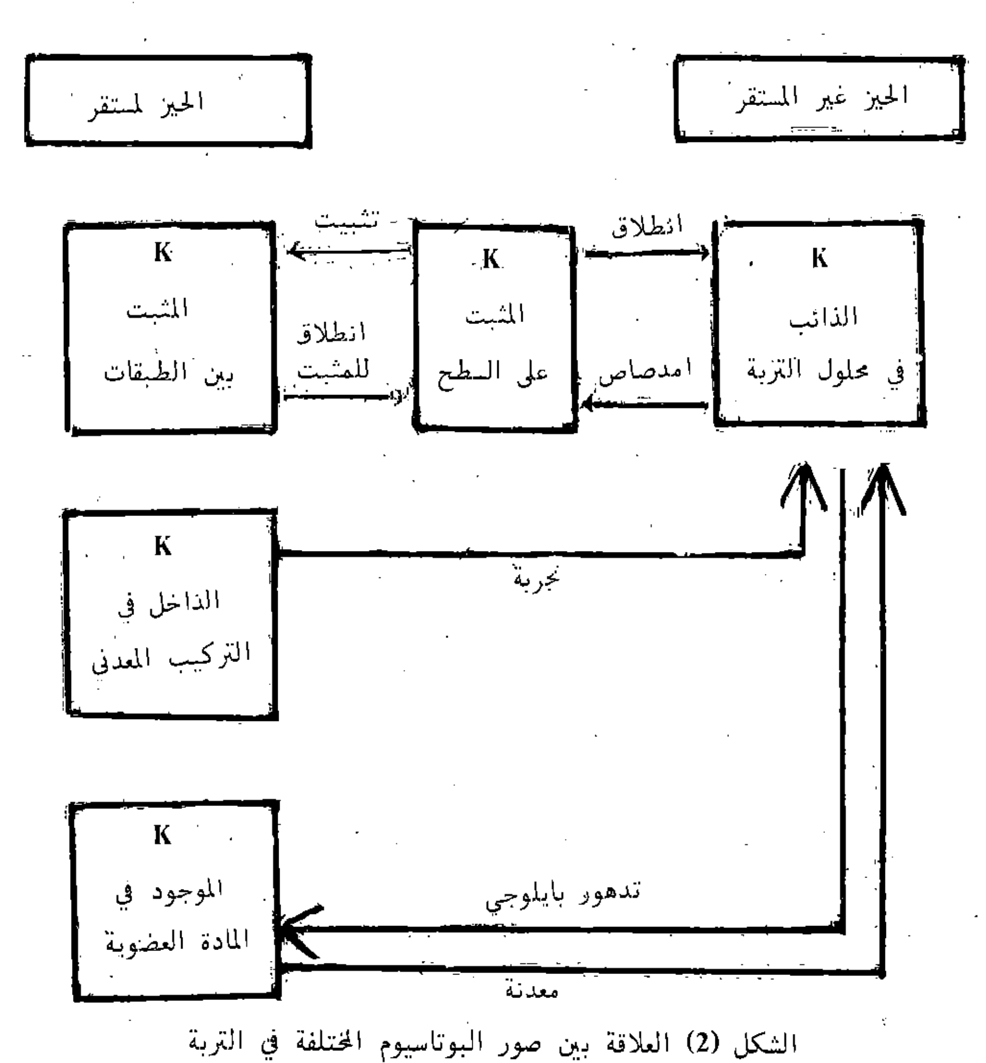
الشكل (1) تحرر البوتاسيوم المعدني من معادن مختلفة خلال فترة نمو المحاصيل الزراعية (Verma, 1963) .

صور البوتاسيوم في التربة

يوجد البوتاسيوم في التربة بأشكال متعددة ويمكن تقسيم بوتاسيوم التربة الى ثلاثة اجزاء ترتبط فيما بينها بعلاقة توازن مباشر يحدد سلوك البوتاسيوم ودوره في التربة ومقدار جاهزيته للنبات .

1- البوتاسيوم الذائب في محلول التربة Soluble potassium

هو البوتاسيوم الذائب في محلول التربة ، اي انه يمثل الصورة التي لا ترتبط بقوى التبادل الكاتيوني (Reitemeier, 1951) . وتشكل هذه الصورة نسبةً قليلة من البوتاسيوم الكلي بالتربة إذ تتراوح بين 0.1-2% . وهذه الكمية قليلة ولا تسد الاحتياجات المطلوبة من اي نبات مزروع . إنَّ هنالك عدة عوامل تؤثر على هذه الكمية منها كمية البوتاسيوم المتبادل exchangeable potassium ومحتوى التربة الرطوبي ونوع معادن الطين والمعادن الاولية وكميتها وتركيز الايونات الاخرى وشدة الغسل ومحتوى التربة من الاحياء الدقيقة ، وغيرها . وتمتاز الصور الذائبة بأهمية خاصة لانها الصورة الجاهزة لتغذية النبات وتمثل الجزء الهام في المستودع غير المستقر Labile pool (الشكل 2) .



الشكل (2) العلاقة بين صور البوتاسيوم المختلفة في التربة

2- البوتاسيوم المتبادل Exchangeable potassium

وهو البوتاسيوم المنجذب على سطح غرويات التربة التي تحمل الشحنة المضادة . ويمكن استخلاص هذه الصورة بواسطة المحاليل الملحية الخاصة بالاستخلاص مثل خلات الامونيوم ammonium acetate وتعتمد كميته على التركيب المعدني للتربة والمحتوى المائي للتربة وظروف التجويه والغسل وعدد مواقع التبادل وتركيز الايونات الاخرى ومحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وكبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$ إذ تعمل المكونات الاخيرة على تقليل عدد مواقع التبادل وبالتالي تقلل من السعة التبادلية الكاتيونية للتربة فيقل تبعاً لذلك محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل . ولكن كلما ازداد محتوى التربة من الطين وكانت ذات نسبة قليلة من الكلس والجبس ازدادت قيمة السعة التبادلية الكاتيونية وازداد تبعاً لذلك البوتاسيوم المتبادل (Havlin et al 1985) . ويوضح جدول (2) تأثير قوام التربة (محتوى التربة من الطين) على محتوى البوتاسيوم المتبادل .

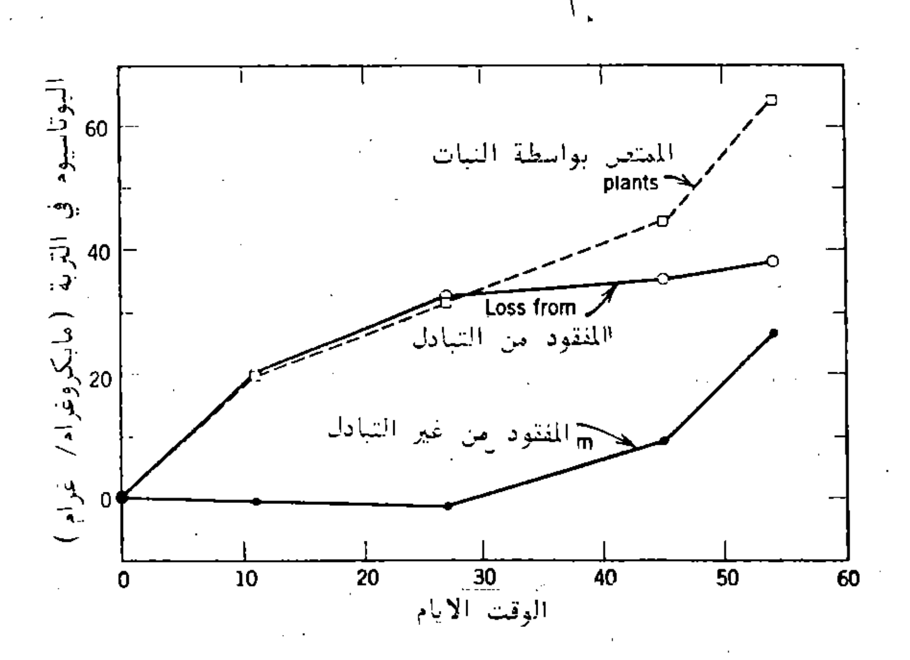
جدول (2) تاثير قوام التربة على محتوى البوتاسيوم المتبادل International Potash Institute, 1982 .

قوام التربة	محتوى الطين %	البوتاسيوم المتبادل ملغم K_2O/100 غم تربة
رملية	0-5	اكثر من 15
رملية مزيجية	10-6	25-15
مزيجية رملية	15-11	30-26
مزيجية	30-16	45-31
طينية	31	اكثر من 45

ويعتبر البوتاسيوم المتبادل الصورة الجاهزة من البوتاسيوم للنبات وإن نسبة هذه الصورة تتراوح بين % 10-1 من البوتاسيوم الكلي . ويمكن النظر الى هذه الصورة كأساس الى المستودع غير المستقر (الشكل 2) . وترتبط هذه الصورة بحالة اتزان سريع rapid equilibrium مع الصورة الذائبة وقد يصعب عزل الصورتين عن بعضها حتى أثناء التقدير الكمي .

3- البوتاسيوم غير المتبادل Non-exchangeable Potassium

ويشمل كلاً من البوتاسيوم المثبت fixed potassiam والبوتاسيوم المعدني الذي يوجد في كل المعادن الاولية والثانوية . وقد صنف بعض الباحثين البوتاسيوم غير المتبادل الى الصور البطيئة التحرر والصور المتوسطة التحرر . وتشكل هذه الصورة 90-98% من البوتاسيوم الكلي . وهنالك علاقة وثيقة بين البوتاسيوم غير المتبادل والبوتاسيوم المتبادل تعتمد على حالة الاتزان الكيمياوي التي تحدد السلوك الكيمياوي لصور البوتاسيوم وجاهزيته بالتربة (الشكل 2) . ولا يمكن النظر الى الصور غير المتبادلة بإنها غير جاهزة اطلاقاً للنبات ، ومن خلال النتائج التي توصل اليها (Gaafer, 1980) نجد قدرة النبات على امتصاص كمية من البوتاسيوم المثبت بين الطبقات إذ كان تركيز البوتاسيوم في محلول التربة بحدود 10 مايكرمول/ لتر (جدول 3) . وقد اشار (Mutscher, 1983) الى تحرر البوتاسيوم المثبت حتى عندما يكون محلول التربة يحتوي على 117 الى 232 مايكرمول بوتاسيوم لكل لتر . ولهذا فإن البوتاسيوم غير المتبادل يكون بحالة توازن غير المتبادل وان الكمية الممتصة من هذه الصورة تزداد مع الوقت (الشكل3) .



الشكل (3) امتصاص البوتاسيوم من ١ كغم تربة مزيجية مزروعة بست نباتات ذرة صفراء في بيت زجاجي مع بيان الكمية المساهمة من قبل الصورة المتبادلة وغير المتبادلة في الكمية الكلية الممتصة » (Grimme, 1966)

وبهذا تساهم الصور المتبادلة وغير المتبادلة في التعبير عن المستودع الجاهز من البوتاسيوم للنبات . ولابد من التأكيد على ان الكمية المتصة من الصور المتبادلة اكبر من الكمية المتصة من الصور غير متبادلة .

تثبيت البوتاسيوم والعوامل المؤثرة عليه

يثبت البوتاسيوم في الفجوة السداسية المتكونة في طبقة التتراهيدرا سيليكا لمعادن 2:1 وذلك لتساوي نصف قطر البوتاسيوم (1.33 انجستروم) لنصف قطر الفجوة (1.35 انجستروم) . إن عملية تثبيت البوتاسيوم تأتي نتيجة لحركة البوتاسيوم من مواقع التبادل بعد تشبيعها وبذلك يترتبط هذا العنصر بقوى تمنعه من الانطلاق بسهولة الى محلول التربة . ولهذا فإن لطبيعة معادن الطين السائدة دوراً هاماً جداً في تحديد عملية التثبيت . وسنحاول مناقشة العوامل المؤثرة على تثبيت البوتاسيوم وعلاقة ذلك بجاهزية البوتاسيوم .

1- معادن الطين

إن لنوع معدن الطين دوراً كبيراً في تثبيت البوتاسيوم ومعدل تحرر هذه الصورة المثبتة . وتمتاز معادن 2:1 بقدرتها العالية على تثبيت البوتاسيوم بالمقارنة مع معادن 1:1 أو مجموعة معادن 2:1:1 التي ينعدم بها التثبيت . كما إن للسعة التبادلية الكاتيونية للمعدن دوراً مساهماً في تشجيع تثبيت البوتاسيوم . ولهذا تختلف قدرة التثبيت مع اختلاف خصائص معادن 2:1 فبشكل عام إن قدرة معادن الالـايت > الفيرمايكوليت > المونتمورنايت على تثبيت البوتاسيوم . وقد لوحظ أن البوتاسيوم لا يثبت بواسطة المادة العضوية وأنَّ اضافة المادة العضوية الى معلق التربة ادى الى زيادة نشاط البوتاسيوم في المعلق وخفض الكمية المتبادلة .

2- درجة الحرارة

تزداد قدرة المعادن على تثبيت البوتاسيوم مع ارتفاع درجات الحرارة إذ يقل تركيز البوتاسيوم الذائب في محلول التربة بسبب تحوله الى صورة متبادلة أو غير متبادلة وكذلك الصور المتبادلة لتحولها الى صورة غير متبادلة وبهذا تتأثر جاهزية البوتاسيوم للنبات .

3- الرطوبة

يؤثر محتوى التربة الرطوبي على تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين . فقد أشار (Wiklander, 1978) الا أن التجفيف يؤدي غالباً الى زيادة التثبيت

بسبب زيادة تجمع البوتاسيوم على سطح معادن الطين وتقلص البعد البلوري . إن التجفيف يساعد على زيادة معادن البوتاسيوم المتبادل وهذه الحالة مهمة في الترب الفقيرة بالبوتاسيوم اما الترب الغنية فقد تحصل حالة اندفاع للبوتاسيوم ليثبت داخل الطبقات .

إن تعاقب الري والتجفيف حالة سائدة بالظروف الاعتيادية وتؤدي هذه العملية الى تحرر البوتاسيوم المثبت بسبب تقلص الطبقات المعدنية الملتوية عند التجفيف وعودتها الى وضعها الطبيعي مما يساعد على انطلاق البوتاسيوم . كما لوحظ قدرة معادن الاليت والفيرمايكوليت على تثبيت البوتاسيوم في الظروف الرطبة وعند الجفاف ، ويرجع سبب ذلك الى عدم قدرة هذه المعادن على التمدد في الظروف الرطبة . أما معادن السمكتايت Smectite minerals فإن قدرة التثبيت تكون ذات فعالية عند الجفاف بسبب تقارب الطبقات من بعضها بعد فقد الماء والكايتونات المتأدردة التي تعمل كسد مانع لدخول البوتاسيوم (DeMumbrum and Hoover, 1958) .

4- درجة تفاعل التربة

إن لدرجة تفاعل التربة أهمية خاصة بسبب دوره الكبير في التحكم بكثير من خواص التربة الفيزياوية والكيمياوية والبايلوجية ومن ضمنها تأثيره على جاهزية عنصر البوتاسيوم من خلال تأثيره على طبيعة العلاقة بين صور البوتاسيوم المختلفة وبالاخص على تحرر البوتاسيوم وتثبيته فقد وجد (Kaila, 1965) إن كمية البوتاسيوم المثبتة في التربة تزداد مع زيادة pH التربة وإن اضافة الكلس يساعد على تحويل البوتاسيوم غير المتبادل الى متبادل .

$$\left.\begin{matrix}H\\K\\K\\K\end{matrix}\right] + CaSO \longrightarrow \left.\begin{matrix}H\\Ca\\K\end{matrix}\right] + K_2SO$$

وعند إضافة محلول بوتاسي فانه سوف يثبت في هيئة غير متبادلة في الترب الحامضية المعاملة بكميات كبيرة من الكلس اكثر من الترب الحامضية غير المعاملة [كما وصف ذلك (Tisdale & Nelson, 1975)] .

$$\left]\begin{matrix}Ca\\H\\Al\end{matrix}\right. + KCl \longrightarrow \left]\begin{matrix}K\\H\\Al\end{matrix}\right. + 1/2\ CaCl$$

ترب حامضية معاملة بالكلس

$$\left]\begin{matrix}H\\Al\end{matrix}\right. = KCl \longrightarrow \left]\begin{matrix}H\\Al\end{matrix}\right. + KCl$$

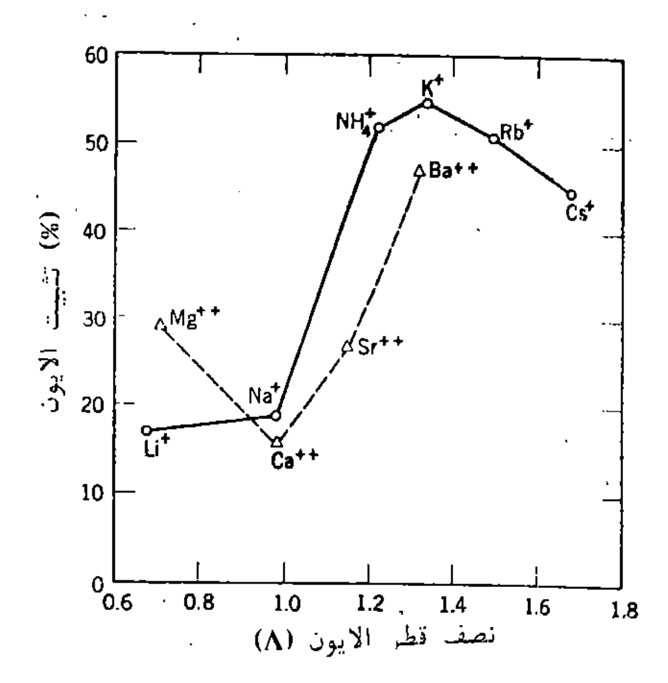
ترب حامضية غير معاملة بالكلس

وقد اشارت نتائج بعض الابحاث (مثل Page & Ganje, Mortland, 1961 1964;) الى زيادة كمية البوتاسيوم المثبتة مع ارتفاع قيمة pH التربة وتقل بنفس الوقت نسبة تحرره من مواقع التثبيت.

5- تأثير ايون الامونيوم

سبق أن اوضحنا أنَّ ايون البوتاسيوم (نصف قطره 1.33 أنجستروم) يثبت بالفجوة السداسية لطبقة التتراهيدراسليكا (نصف قطرها 1.35 أنجستروم) وذلك لتقارب أنصاف اقطار الاثنين. وكذلك فإن قدرة ايون الامونيوم (نصف قطره 1.30 أنجستروم) للتثبيت بالفجوة السداسية عالية. ويمكن القول إنَّ قدرة هذين الايونين على التثبيت دون غيرهما يرجع لتقارب انصاف اقطارهما مع نصف قطر الفجوة السداسية، ويوضح الشكل (4) اختلاف قدرة الايونات المختلفة على التثبيت وإن العامل المحدد لهذه الخاصية هو نصف قطر الايون.

لقد اجريت العديد من الابحاث لمعرفة العلاقة المتداخلة بين تثبيت الامونيوم والبوتاسيوم وذلك لكون ايون الامونيوم الصورة السائدة في الاسمدة النايتروجينية المضافة الى الترب. وكانت من النتائج التي تم التوصل اليها هي أن مواقع تثبيت البوتاسيوم والامونيوم متشابهة، وإن اضافة الامونيوم اولاً واحتلاله مواقع تثبيت محددة تدفع البوتاسيوم المضاف بعده الى احتلال المواقع المتبقية. وتزداد كمية الامونيوم المثبتة مع زيادة الكمية المضافة وبذلك تقل المواقع المتبقية لتثبيت البوتاسيوم. وعند اضافة البوتاسيوم اولاً فانه يعمل ايضاً على تقليل الامونيوم المثبتة.



الشكل (4) تأثير العلاقة بين نصف قطر الايون وتكافؤه على النسبة المئوية للتثبيت الايوني في تربة طينية (Page & Baver, 1939) .

وإن اضافة تركيز ثابت من الايونين يساعد على تثبيت كمية اكبر من البوتاسيوم بالمقارنة مع الامونيوم (الشكل 5) .

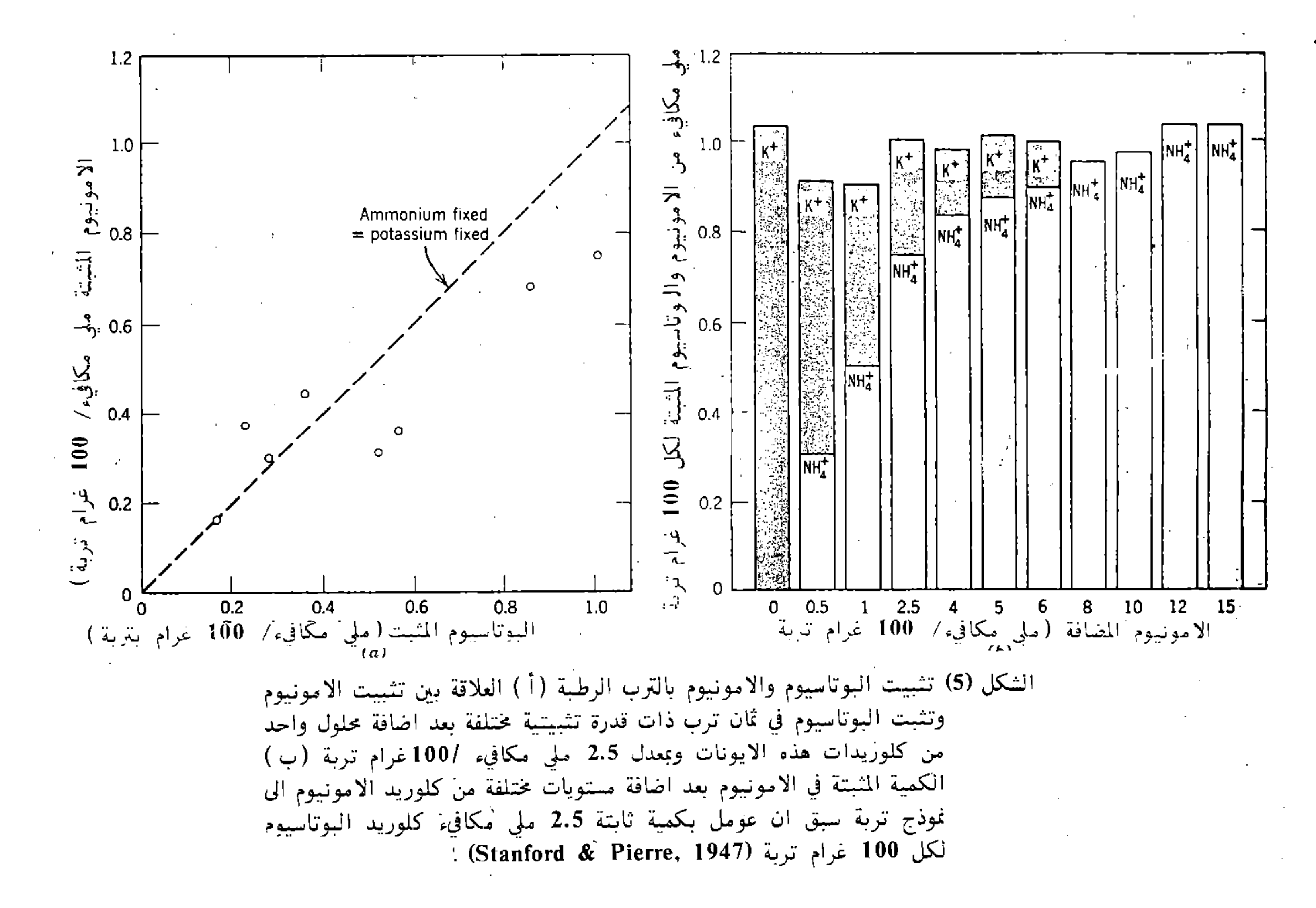
إن اضافة البوتاسيوم بعد الامونيوم يعرقل تحرير الامونيوم المثبت وكذلك يعمل ايون الامونيوم (الشكل 6) . حيث يمسك أيون الامونيوم الطبقات بقوة اكبر بسبب صغر حجمه .

الاتزان الكيمياوي بين صور البوتاسيوم وجاهزيته

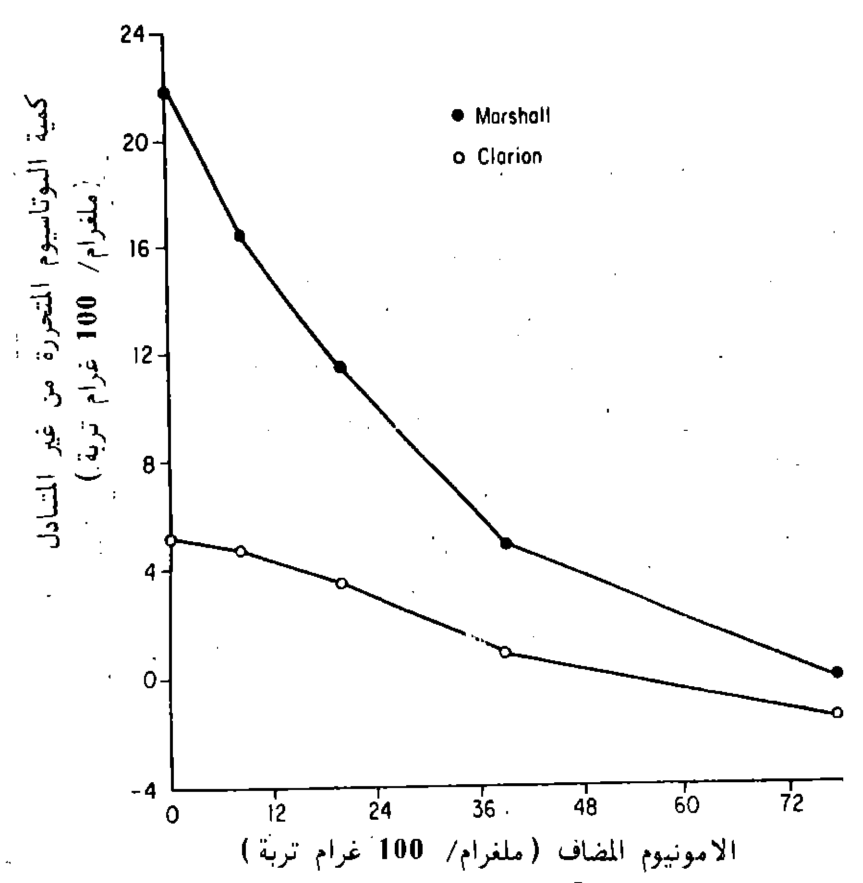
إن الصور الثلاث ـ البوتاسيوم الذائب والبوتاسيوم المتبادل والبوتاسيوم غير المتبادل في اتزان كيمياوي يحدد السلوك العام للبوتاسيوم الجاهز للنبات .

الذائب $\rightleftharpoons$ المتبادل $\rightleftharpoons$ غير المتبادل

ولا توجد هنالك حدود تفصل بين صور البوتاسيوم وانما هي حدود وهمية وضعت لمعرفة سلوكية كل صورة من صور البوتاسيوم في التربة وقد اشار (Mengel, 1985) الى ان كمية البوتاسيوم الذائبة قليلة جداً وهي بحدود



الشكل (5) تثبيت البوتاسيوم والامونيوم بالترب الرطبة (أ) العلاقة بين تثبيت الامونيوم وتثبت البوتاسيوم في ثمان ترب ذات قدرة تثبيتية مختلفة بعد اضافة محلول واحد من كلوريدات هذه الايونات وبمعدل 2.5 ملي مكافيء /100غرام تربة (ب) الكمية المثبتة في الامونيوم بعد اضافة مستويات مختلفة من كلوريد الامونيوم الى نموذج تربة سبق ان عومل بكمية ثابتة 2.5 ملي مكافيء كلوريد البوتاسيوم لكل 100 غرام تربة (Stanford & Pierre, 1947) :

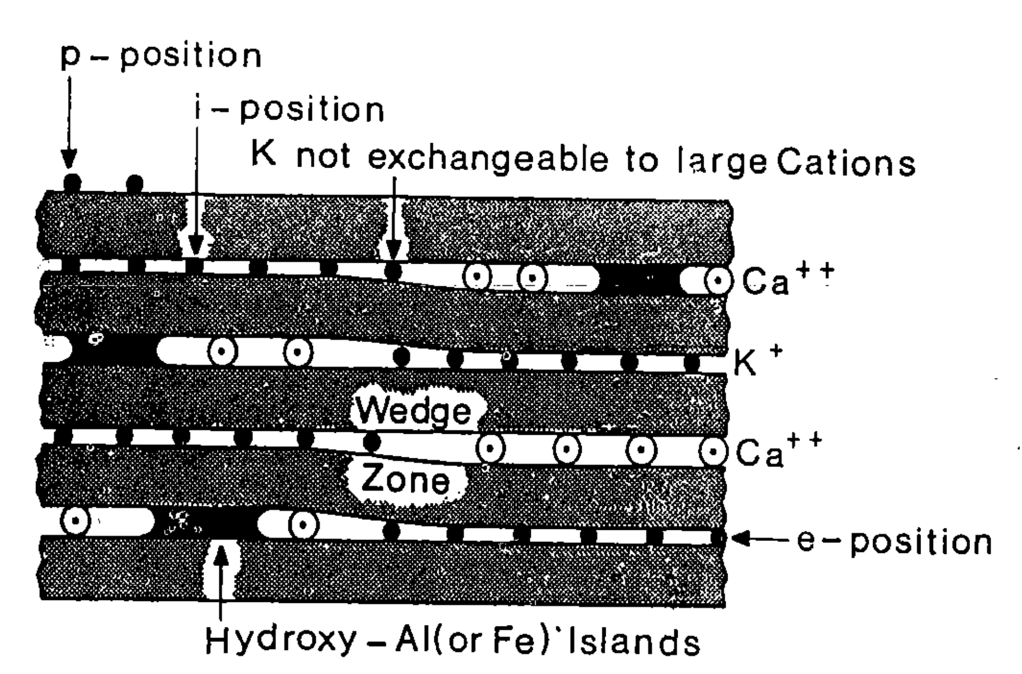


الشكل (6) تاثير اضافة ايون الامونيوم على انطلاق البوتاسيوم غير المتبادل [Welch & Scott, 1961].

10-20 كغم بوتاسيوم لكل هكتار في الطبقة السطحية (0-0.3م) في الترب المسمدة . بينما البوتاسيوم المتبادل يتراوح بين 300 الى 1000 كغم بوتاسيوم لكل هكتار ، والبوتاسيوم غير المتبادل بحدود 10^3 الى 10^4 كغم بوتاسيوم لكل هكتار . ولهذا فان البوتاسيوم الكلي في الطبقة السطحية لترب معدنية يتراوح بين 2×10^4 الى 5×10^4 كغم بوتاسيوم لكل هكتار . وبغض النظر عن البوتاسيوم الذائب فإن الصور المتبقية ترتبط في معادن التربة وغروياتها بمواقع مختلفة (الشكل 7) تحدد بذلك حالة الاتزان الكيمياوي بين الصور المختلفة وكذلك الاحتياجات السماوية المطلوبة خلال موسم النمو . وتمثل مواقع البوتاسيوم في الترب المختلفة بالآتي :

1- مواقع على السطح P-position (planar surface)

وقوة الربط بحدود 2.2 $(\text{ملي مول/ لتر})^{1/2}$ وهي عبارة عن مواقع ربط البوتاسيوم السطحية التي ترتبط بحالة توازن سريع مع البوتاسيوم



الشكل (7) مواقع ارتباط البوتاسيوم في معادن 2:1 (Kirkby & Mengel, 1982) .

الذائب بمحلول التربة . ويمتاز البوتاسيوم المرتبط بهذه المواقع بقدرته على التعويض السريع حال حدوث نقص في محلول التربة وذلك لتستقر حالة التوازن بين الصورتين . وينظر لهذا البوتاسيوم بانه جاهز للاحتياجات النباتية .

2- مواقع عند الحواف e-position (Edges of the layer)

إن قوة الربط بهذه المواقع اعلى من مواقع P-position فهي بحدود 102 (ملي مول/ لتر)$^{-\frac{1}{2}}$. ويمتاز البوتاسيوم المرتبط بهذه المواقع بقدرته البطيئة على التحرر . وتنتشر هذه المواقع في معادن الطين 1:1 وإن زيادة نسبتها بالتربة يؤدي الى عرقلة انتشار البوتاسيوم الى جذور النبات .

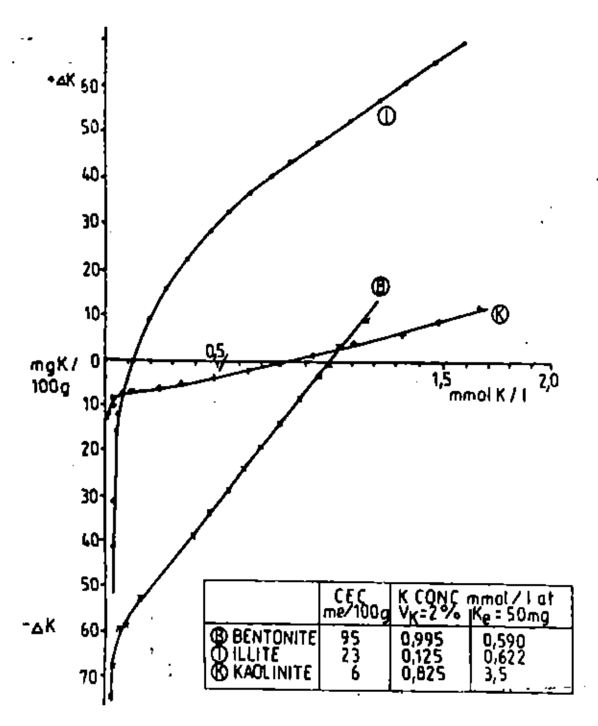
3- مواقع بين الطبقات i-position (Interlayer position)

إن قوة الربط بهذه المواقع اعلى بكثير من مواقع (P و i positions) . فهي عبارة عن القوى الرابطة للبوتاسيوم المثبت بين طبقات معادن 2:1 وإن قدرة البوتاسيوم على التحرر من هذه المواقع بطيئة جداً بالمقارنة مع المواقع الأخرى . لذا توصف هذه القوة بانها تمثل مقداراً لا نهائياً من (ملي مول/ لتر)$^{\frac{1}{2}}$. وهذه المواقع الثلاثة وصفت بمعامل جابون Gapon coefficient من قبل (Bolt et al, 1963) .

$$\frac{K_{ads}^{+}}{Ca_{ads}^{2+}} = K \frac{K_s^{+}}{\sqrt{Ca_s^{2+}}}$$

حيث أن Kads و Ca ads التراكيز المدمصة بينما K_s^+ و Ca_s^{2+} التراكيز الذائبة و K هو معامل جابون .

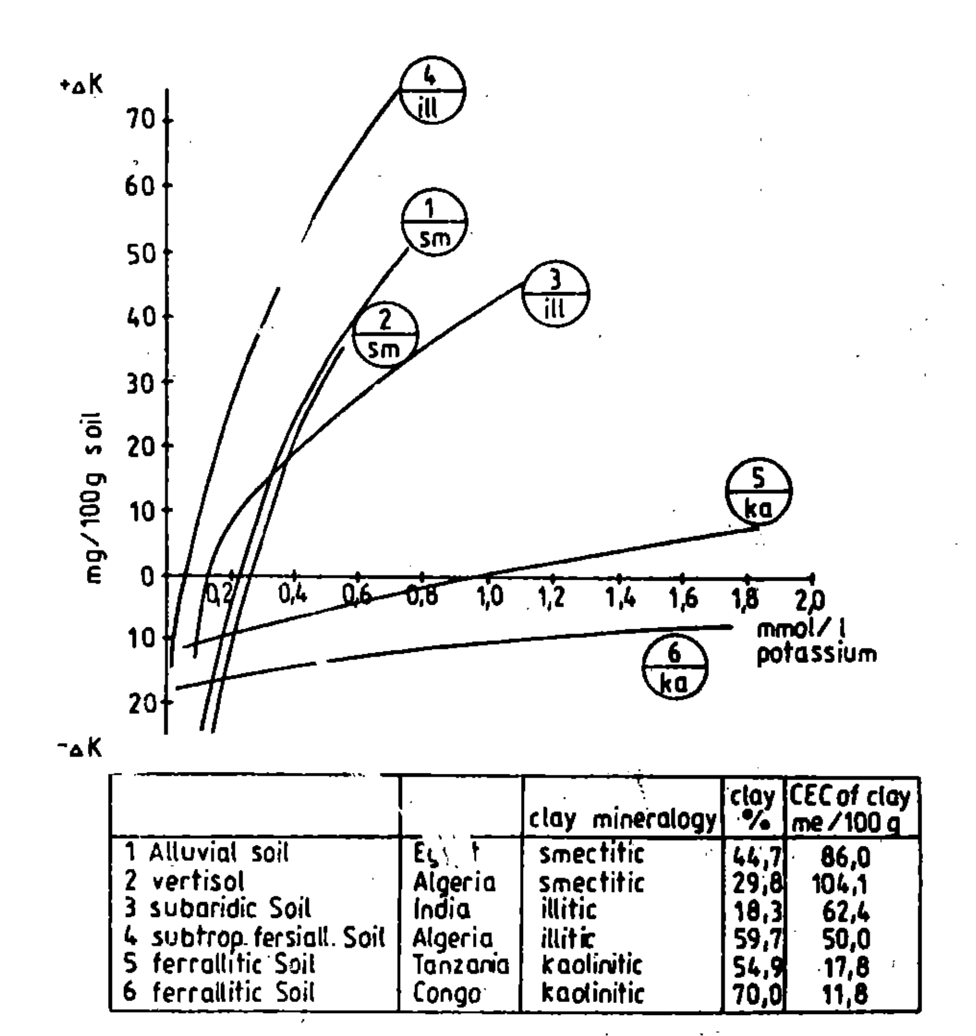
في الترب العضوية والرملية يرتبط البوتاسيوم بمواقع P-position وإن عدد هذه المواقع قليل جداً وكذلك الحال في معادن الطين 1:1 التي تمتاز بعدم قدرتها على تثبيت البوتاسيوم وانخفاض السعة التبادلية الكايتونية لمجموعة هذه المعادن . ولهذا فإن سيادة أي من هذه المواقع في الترب الطينية يعتمد على نوعية المعادن السائدة . إن تركيز محلول الترب الطينية الحاوية على مجموعة معادن 1:2 يكون واطئاً عموماً بالمقارنة مع تركيز محلول الترب الرملية أو حتى الطينية الحاوية على مجموعة معادن 1:1 مثل معدن الكاؤولينات وذلك لقلة محتوى الترب الأخيرة على مواقع محدودة لامدصاص البوتاسيوم وانعدام مواقع التثبيت . وبسبب اختلاف قوة هذه المواقع واعتمادها على خصائص التربة فإن العلاقة بين الامدصاص/ الانطلاق adsorption /desorption لعنصر البوتاسيوم يحددها نوع المعدن وليس السعة التبادلية الكايتونية بشكل اساس (الشكل 8) ، بل أن السعة التبادلية الكايتونية



	CEC me/100g	K CONC mmol/l at V_K=2%	K_e=50mg
Ⓑ BENTONITE	95	0,995	0,590
Ⓘ ILLITE	23	0,125	0,622
Ⓚ KAOLINITE	6	0,825	3,5

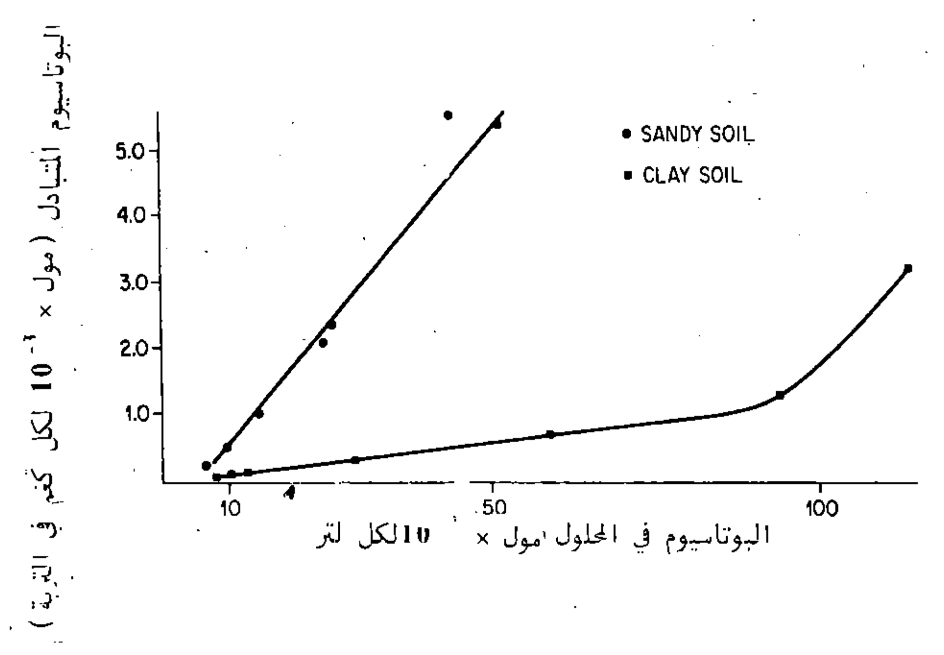
الشكل (8) العلاقة بين الامدصاص/ الانطلاق لايون البوتاسيوم في ترب مختلفة الخصائص (Mutscher, 1983) .

ونسبة الطين تكونان عاملاً مساعداً لزيادة معدل الامدصاص للبوتاسيوم في الترب (الشكل 9) . وقد أوضحت نتائج (Grimme et al. 1971) اختلاف القدرة التشبيعية للبوتاسيوم في الترب الرملية والطينية وذلك بسبب اختلاف نسبة مواقع التبادل في هذه الترب (الشكل 10) . إذ ينقسم منحنى التربة الطينية الى قسمين يمثل الجزء الاسفل من المنحنى مواقع P-position بينما يمثل الجزء الثاني مواقع i,e -position،



		clay mineralogy	clay %	CEC of clay me/100 g
1 Alluvial soil	Eg[illegible]t	smectitic	44,7	86,0
2 vertisol	Algeria	smectitic	29,8	104,1
3 subaridic Soil	India	illitic	18,3	62,4
4 subtrop. fersiall. Soil	Algeria	illitic	59,7	50,0
5 ferrallitic Soil	Tanzania	kaolinitic	54,9	17,8
6 ferrallitic Soil	Congo	kaolinitic	70,0	11,8

الشكل (9) العلاقة بين الامدصاص/ الانطلاق لايونات البوتاسيوم في ترب مختلفة الخصائص ومحتوى الطين **(Mutscher, 1983)** .



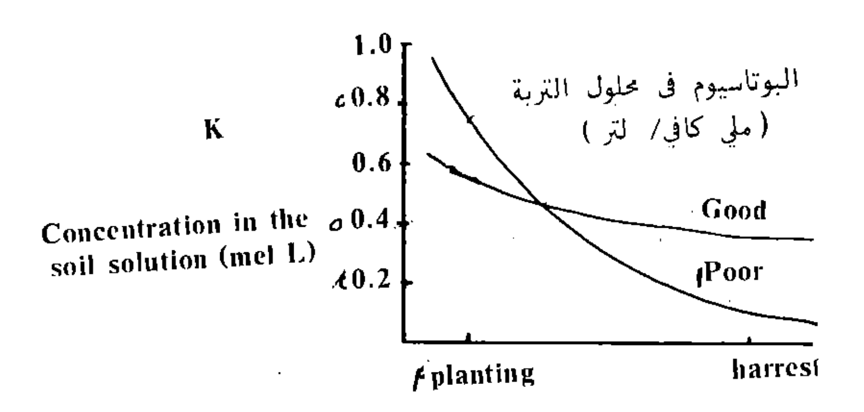
الشكل (10) العلاقة بين تركيز البوتاسيوم في محلول التربة والبوتاسيوم المتبادل في ترتبين ذات محتوى مختلف من الطين (1971) **Grimme et al.**

ان معدل انتشار البوتاسيوم في الترب الرملية والعضوية وكذلك معدل غسل البوتاسيوم الى اعماق قطاع التربة اكبر من الترب المعدنية الطينية الحاوية على معادن 1 :2 (جدود 4) . وكما سبق ان اشرنا فان نسبة الطين لا يمكن النظر اليها كدالة . بل لنوع الطين تأثير كبير على كمية البوتاسيوم الممدصة والمثبتة وكذلك المنطلقة خلال عملية desorption .

جدول (4) تاثير كمية الطين على معدل غسل البوتاسيوم

التربة	محتوى الطين	معدل غسل البوتاسيوم كغم / هكتار / سنوياً
رمل	اقل من 3%	7-17
مزيجية رملية	16%	0-14
مزيجيه	28%	3-8
طين	39%	5-8

ولهذا فان الترب الرملية تمتاز بانخفاض القدرة التنظيمية خلال فترة نمو اي محصول . اي بمعنى ان الترب الرملية بحاجة الى تكرار التسميد او محاولة رفع تركيز محلول التربة في مراحل النمو الاخيرة اذا اضيف السماد في بداية النمو . ان محافظة الترب على تجهيز محلول التربة بسرعة ليحافظ على التركيز المناسب خلال فترة النمو يعني امتلاكها القدرة التنظيمية buffering Capacity العالية (الشكل 11) . ولهذا فان الترب الطينية اكثر تنظيمياً للمحافظة على تركيز محلول التربة من الترب الرملية والعضوية خلال فترة زمنية محددة .



الشكل (11) تغير تركيز محلول الترب خلال موسم النمو وعلاقته بالقدرة التنظيمية للتربة . (Mengel, 1985)

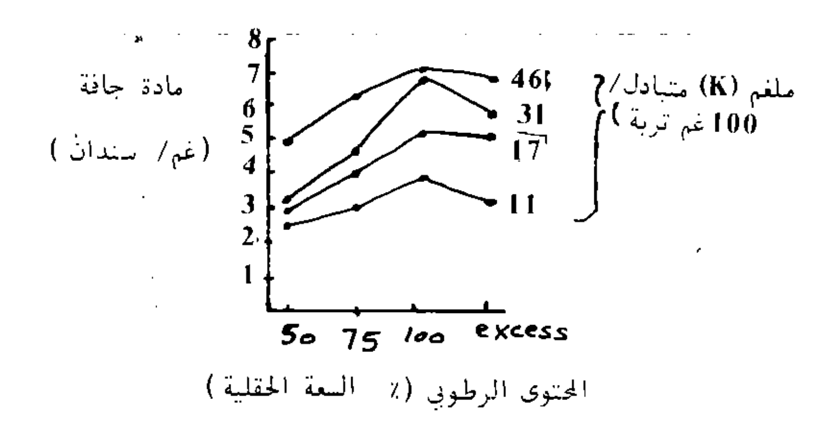
وبشكل عام فان البوتاسيوم الذائب بمحلول التربة والمرتبط بمواقع p-positions تمثل البوتاسيوم الجاهز والممتص من قبل النبات والمتحرك خلال مقد التربة بعد الري او سقوط الامطار . واما البوتاسيوم في مواقع e-position فان قدرته للحركة اقل ولهذا فانه يساهم في تجهيز محلول التربة أو النبات بكمية من البوتاسيوم . كما اكدت عدة دراسات على قدرة البوتاسيوم بين الطبقات للانطلاق والمساهمة في تجهيز النبات باحتياجاته . فقد درس (Jackson & During 1979) انطلاق البوتاسيوم المثبت من ست ترب مختلفة المحتوى والتركيب المعدني ووجدا ان التركيز الحرج للبوتاسيوم Critical K^+ conentration في محلول التربة المشجع لعملية انطلاق البوتاسيوم المثبت بحدود 0.1 الى 2 ملي مول لكل لتر . ووفقاً لنتائج (Talibudeen, 1972) فان قدرة الحشائش على الاستفادة من البوتاسيوم المثبت كانت عند تركيز يصل الى 0.1 ملي مول لكل لتر . واوضح

ان الكمية المتحررة من البوتاسيوم المثبتة تعتمد على (Scott & Smith, 1966) نوع الكاتيون المتبادل وان ايون الهايدروجين وايون الامونيوم لها القدرة العالية على اطلاق البوتاسيوم دون حدوث اي تمدد بالطبقات . في حين اشارت النتائج التي توصل اليها (Jackson & During, 1979) الى افضلية تأثير الكالسيوم والصوديوم على اطلاق البوتاسيوم وان ميكانيكية الانطلاق تتأثر بدرجة الحرارة وان اعلى معدل للانطلاق كان عند درجة حرارة (50° م) . اما الباحثان (Schroeder & Dümmler, 1966) فقد وجدا ان للبوتاسيوم غير المتبادل دوراً كبيراً في تجهيز النبات بالبوتاسيوم وقد تصل مساهماته في بعض الترب من 80 الى 90% من الكمية الكلية الممتصة من قبل النبات وبالرغم مما ذكر فلا يمكن النظر الى البوتاسيوم غير المتبادل بانه سريع التجهيز للنبات كما لا يمكن مقارنة سرعة مساهمته مع المتبادل فقد اكدت النتائج التي توصل اليها (& Mengel Wiechens, 1979) عدم اعتماد البوتاسيوم غير المتبادل كمصدر دائم للنبات ، بل ان معدل انطلاقه ترتبط بعوامل عديدة وقد لا تزيد نسبة البوتاسيوم المنطلق عن 2.5% من محتوى البوتاسيوم الكلي بالتربة بسبب ازدياد قوة الربط . وفي الظروف الحقلية وجد (Amberger et al, 1974) ان قدرة البوتاسيوم غير المتبادل للانطلاق تحتاج الى وقت قد يزيد عن شهر .

وتعد عملية تثبيت البوتاسيوم بالتربة مشكلة تعرقل جاهزيته خلال فترة نمو المحاصيل . وقد يقصد بعملية تثبيت البوتاسيوم هو اعادة لملىء مواقع التثبيت وبذلك يمكن حل هذه المشكلة من خلال اضافة كمية كبيرة من البوتاسيوم لاشباع المواقع الفارغة ثم بعد ذلك يضاف المستوى المطلوب من السماد ليكون بصورة جاهزة وملبية لحاجة النبات .

يتحرك البوتاسيوم الى جذور النبات بطريقتي الانتشار والانتقال الكتلي . ولهذا فان الكمية التي تصل الى المجموع الجذري تعتمد على تركيز البوتاسيوم في محلول التربة القريب والبعيد عن المجموع الجذري . وان معدل انتشار البوتاسيوم يعتمد ايضاً على محتوى التربة الرطوبي اذ يزداد معدل الانتشار عند توفر الرطوبة . ولهذا فان الترب الجافة تحتاج الى كمية اعلى من البوتاسيوم كي ينتشر او يتحرك بصورة اسرع ليعطي اعلى جاهزية . كما ان الرطوبة العالية تؤدي الى زيادة كفاءة استهلاك البوتاسيوم من قبل النبات (الشكل 12) . كما اوضحت النتائج التي توصل اليها (Younts, 1971) ان وفرة الرطوبة بحدود الكفاية يساعد على حركة البوتاسيوم للنبات مما ينعكس ذلك ايجابياً على الانتاج . وان تجاوز الحدود المطلوبة يخلق ظروفاً لاهوائية تنعكس بالضرر على انتاجية المحصول . لهذا فان محتوى التربة من الطين والبوتاسيوم المتبادل وقدرة التربة التنظيمية

buffering Capacity للبوتاسيوم ومحتوى التربة الرطوبي تؤثر بشكل مباشر على جاهزية البوتاسيوم للنبات وتلعب دوراً هاماً في تحديد السلوك الكيمياوي لبوتاسيوم التربة وكذلك البوتاسيوم المضاف بهيئة اسمدة كيمياوية مختلفة .



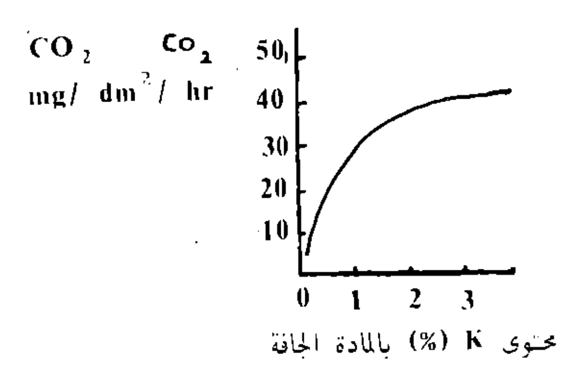
الشكل (12) تأثير محتوى التربة الرطوبي على كفاءة البوتاسيوم المضافة الى تربة مزروعه بمحصول الذرة الصفراء (Braunschweig & Grimme, 1973) .

البوتاسيوم ونمو النبات

سبق ان أشرنا الى اهمية عنصر البوتاسيوم في تغذية النبات . وسنحاول مناقشة دور هذا العنصر في النبات بعد امتصاصه من محلول التربة لكي نبين الدور الذي يؤديه هذا العنصر في الانتاج الزراعي .

يعتبر عنصر البوتاسيوم عاملاً منشطاً للانزيمات المساهمة في عملية التركيب الضوئي . فقد اشار (Smid and Peaslee, 1976) الى ان زيادة محتوى الجزء الخضري بعنصر البوتاسيوم يشجع عملية التركيب الضوئي من خلال زيادة كمية ثاني اوكسيد الكاربون الممتصة (الشكل 13) وكذلك زيادة نشاط الانزيمات المساعدة في تمثيل ثاني اوكسيد الكاربون CO_2 assimilation ، مثل انزيم Adenopsion triphosphate (ATP) . كما أوضح (Hartt, 1979) بان لعنصر البوتاسيوم دوراً هاماً في حركة الكاربوهيدريت من مواقع تكوينها الى اجزاء النبات الاخرى وبذلك يساهم في تشجيع عملية التركيب الضوئي . اما (Haeder et al 1973) فقد لاحظا ان حوالي 80% من ^{14}C قد تحرك من الاوراق الى الدرنات خلال فترة اربع وعشرين ساعة عند اضافة البوتاسيوم . ولكن لا تتجاوز

كمية الكاربون المتحرك الى اكثر من 50% عند المعاملة التي لم تسمد بالبوتاسيوم مما يؤكد دور هذا العنصر في حركة الكاربوهيدريت .



الشكل (13) العلاقة بين محتوى النبات من البوتاسيوم وعملية التركيب الضوئي (Hartt, 1979)

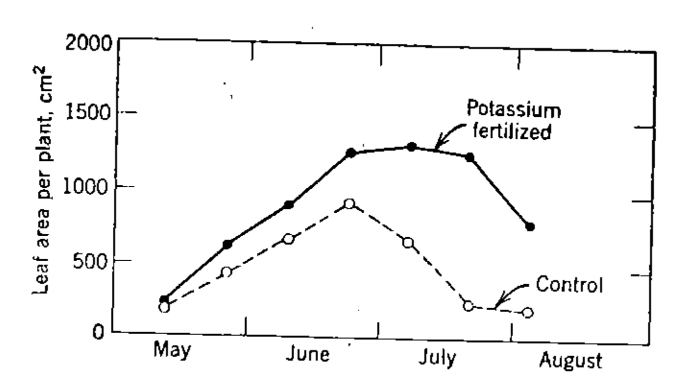
ولهذا فقد يؤدي نقص البوتاسيوم الى انخفاض محتوى النبات من الكاربوهيدريت . ولايمكن النظر الى العلاقة بين محتوى النبات من البوتاسيوم والكاربوهيدريت بانها علاقة طردية بل يحدد ذلك الجهد الوراثي للنبات والسلوك التوازني بين محتوى النبات من البروتين والكاربوهيدريت . فقد ينخفض محتوى النبات من الكاربوهيدريت عند تجاوز حدود معينة من محتوى النبات من البوتاسيوم (:جدول 5) ، مما يؤكد اهمية حدود التوازن بين الاثنين . وقد يؤدي

جدول (5) تأثير اضافة مستويات مختلفة من البوتاسيوم على انتاجية محصول البطاطا ومحتوى السكر في الدرنات (استل من Black, 1968) .

البوتاسيوم المضاف (غم/ سنذان)	انتاجية المادة الجافة غم/ سندان الدرنات	الجذور	القمة	محتوى السكر في الدرنات الجافة %
0	8	1	41	53
0.23	29	3	51	62
0.70	70	2	49	67
1.56	109	3	53	68
3.90	125	2	49	66

نقص البوتاسيوم الى ضعف الساق وقلة الالياف وصغر حجم الخلايا النباتية بسبب نقص محتوى النبات من الكاربوهيدريت .

ومن خلال دور البوتاسيوم في زيادة كفاءة عملية التركيب الضوئي ومعدلها ومحتوى النبات من الكاربوهيدريت ، فإنه يساعد على زيادة مساحة الاوراق النباتية (الشكل 14) . وإن مساهمة عنصر البوتاسيوم في تنشيط الأنزيمات في جميع مراحل النمو يساعد على إحتفاظ اكبر عدد من الاوراق بحالة نشطة حتى نهاية الموسم (جدول 6) . ولهذا فإن إضافة البوتاسيوم سيؤدي الى زيادة النمو والانتاج وتحسين نوعيته ومحتواه الكاربوهيدراتي .



الشكل (14) تأثير التسميد البوتاسي على مساحة اوراق نبات البطاطا خلال فترات النمو المختلفة **(Watson, 1956)** .

جدول **(6)** تأثير التسميد البوتاسي على عدد الاوراق الساقطة في نهاية الموسم .

كمية البوتاسيوم المضافة كغم/ هكتار	% عدد الاوراق الساقطة
22	65
45	53
90	31

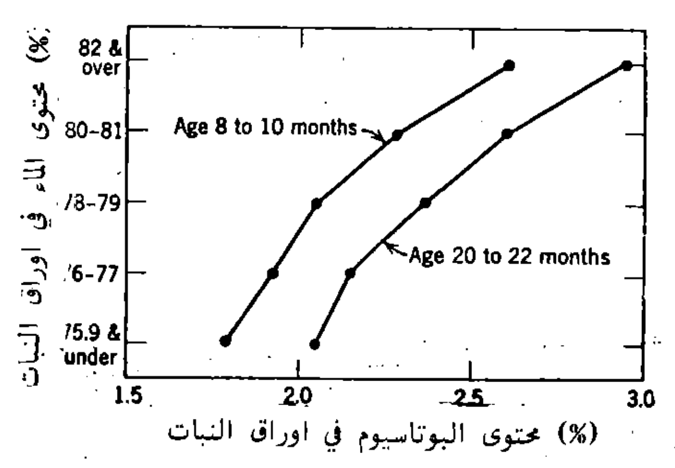
البوتاسيوم وإمتصاص الماء

إن امتصاص البوتاسيوم يساعد على زيادة الضغط الازموزي للخلية النباتية ، لذلك يتحرك الماء الى داخل الخلية مما يؤدي الى زيادة الضغط الانتفاخي للخلية. tugor pressure . وهذا الضغط ضروري جداً لتمدد الخلية ، كما يساعد على توليد ضغط داخلي للخلية على الجدران الداخلية مما يعمل على فتح الثغور Stomata وبالتالي تزداد عملية النتح Transpiration ودخول ثاني اوكسيد الكاربون الجوي الى داخل الورقة مما يساهم في زيادة كفاءة عملية التركيب الضوئي. ويعوض نقص الماء أثناء عملية النتح بالتأثير الازموزي للبوتاسيوم الممتص الذي يساعد على امتصاص المزيد من الماء . فقد لوحظ أن النبات الذي حصل على احتياجاته من البوتاسيوم ، إستهلك اقل كمية من الماء ليعطي اعلى انتاج . وتؤكد النتائج التي توصل اليها (Mengel & Forster, 1978) أنَّ للبوتاسيوم دوراً كبيراً في زيادة كفاءة الوحدة المائية اللازمة لإنتاج غرام واحد من الحاصل . أي بمعنى أن النبات المجهز بكمية كافية من البوتاسيوم يستطيع أن يستفيد من رطوبة التربة بمستوى أعلى كفاءة لإنتاج غرام واحد من الحاصل بالمقارنة مع نبات لم يجهز بالكمية الكافية من هذا العنصر (جدول 7) . وان زيادة مستوى البوتاسيوم المضاف يؤدي الى زيادة الانتاج وان المستوى العالي من البوتاسيوم يقلل من استهلاك النبات لانتاج غرام واحد من البنجر السكري .

جدول (7) تأثير البوتاسيوم على تحسين كفاءة الماء الممتص من قبل محصول البنجر السكري (Mengel & Forster, 1979) .

تركيز البوتاسيوم في المحلول المغذي (ملي مكافيء بوتاسيوم/ لتر)		
0.2	1.0	5.0
وزن البنجر السكري (غرام/ نبات)		
392	602	647
(لتر) الاستهلاك المائي الكلي لكل وحدة بنجر		
27.8	27.7	27.2
71	46	42
غرام من الماء المستهلك لإنتاج غرام واحد من البنجر السكري		

وقد اشارت النتائج التي توصل اليها (Humbert, 1958) الى أن نقص البوتاسيوم في اوراق محصول قصب السكر sugarcane يؤدي الى انخفاض الضغط ـ الانتفاخي للاوراق بسبب نقص محتواها من الماء وأن التأثير يكون ذا فعالية اكبر في مراحل النمو الاولى بالمقارنة مع المراحل المتقدمة (الشكل 15). وقد اكد (Williams, 1960) وآخرون بأن معظم الايونات الموجبة الاحادية مثل الصوديوم لها تأثير أزموزي مشابه لما يفعله البوتاسيوم ولكن لا يقلل هذا الامر دور البوتاسيوم المتميز في زيادة كفاءة الاستهلاك المائي وماينعكس ذلك على عملية التركيب الضوئي وانتاج المزيد من الكاربوهيدريت.

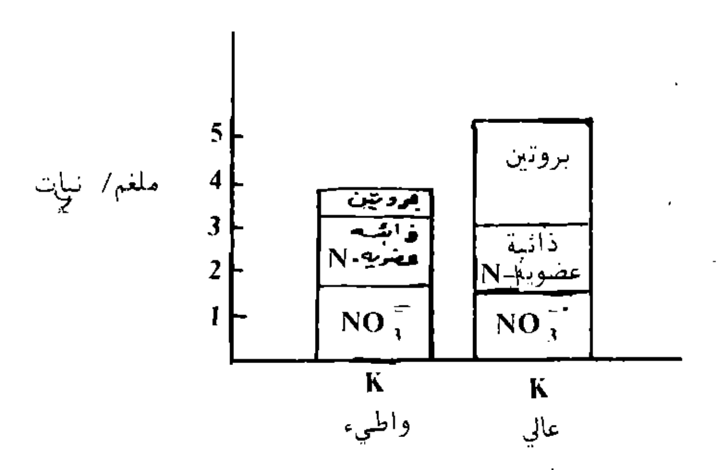


الشكل (15) العلاقة بين محتوى اوراق محصول قصب السكر من البوتاسيوم ومحتواها من الماء خلال فترات نمو مختلفة (Humbert, 1958).

العلاقة بين البوتاسيوم والنايتروجين

سبق أن أوضحنا أن النبات يمتص النايتروجين بهيئة NO_3^- و NH_4^+. وتتحول هذه الصور داخل النبات الى مركبات عضوية نايتروجينية بسيطة اولاً مثل الاحماض الامينية amino acids ومنها تتكون الصور الاكثر تعقيداً مثل البروتينات proteins والاحماض النووية nucleic acids. وإن سلسلة التحويلات التي تبدأ بتحويل الصور المعدنية اولاً تحتاج الى طاقة. ويقوم البوتاسيوم من خلال تنشيطه لانزيم Adenosin triphosphate (ATP) بتزويد سلسلة. التحولات بالطاقة اللازمة وكذلك يساعد على اختزال NO_3^- الى NH_4^+. ولهذا يؤدي البوتاسيوم دوراً هاماً في تكوين المركبات النايتروجينية المساهمة في بناء أنسجة النبات ومكوناته. فقد أشار (Koch & Mengel, 1978) الى قدرة البوتاسيوم على مساعدة النبات لامتصاص النايتروجين وتحويله الى بروتين. كما لاحظا أن

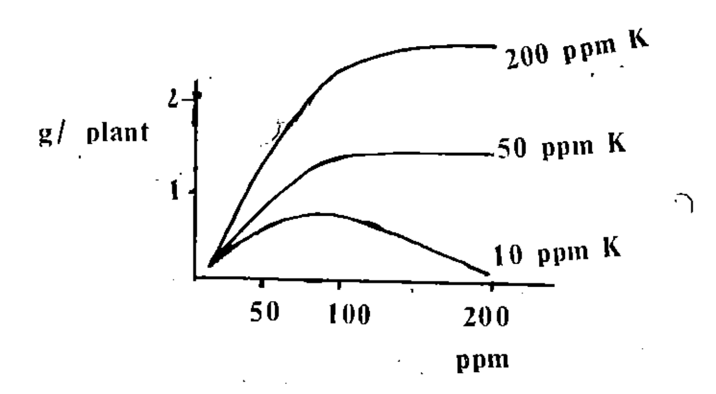
المستويات الواطئة من البوتاسيوم تعمل كمانع لتكوين البروتين وبذلك يزداد تركيز NO_3^- والمركبات الوسطية الأخرى في النبات ، في حين يساعد امتصاص النبات للبوتاسيوم بحدود الكفاية يعمل على تحويل الصور المعدنية الممتصة الى صور عضوية وبذلك فإن نسبة محتوى النبات من البروتين تكون عالية (الشكل 16) .



الشكل (16) تأثير البوتاسيوم على امتصاص النايتروجين (^{15}N) وتمثيله الى بروتين بعد فترة خمس ساعات من المعاملة **(Koch & Mengel, 1978)** .

وللبوتاسيوم دور بارز في زيادة كفاءة الاسمدة النايتروجينية المضافة للتربة . فقد بينت النتائج التي توصل اليها (Macleod, 1969) أنَّ توفر البوتاسيوم بكمية مناسبة لمحصول الشعير يعمل مع النايتروجين على زيادة الانتاج ، وإن استجابة المحصول للنايتروجين تزداد مع زيادة مستوى البوتاسيوم المضاف (الشكل 17) . وقد بينت النشرة السنوية (International Potash Institute, 1982) نتائج احدى التجارب التي أجريت في فرنسا على محصول الذرة الصفراء الخاصة بدراسة التداخل بين النايتروجين والبوتاسيوم وأثر ذلك على الانتاج . فقد اضيف النايتروجين بمستويين هما 75 و 150 كغم نايتروجين لكل هكتار في حين أضيف البوتاسيوم بالمستويات الآتية (0 ، 80 و 160 كغم K_2O لكل هكتار) مع مستوى ثابت من السماد الفوسفاتي (120 كغم P_2O_5 / هكتار) . إن معدل زيادة الانتاج بفعل تأثير البوتاسيوم عند المقارنة بين انتاجية المستوى 75 كغم N / هكتار والمستوى 150 كغم N لكل هكتار هي :

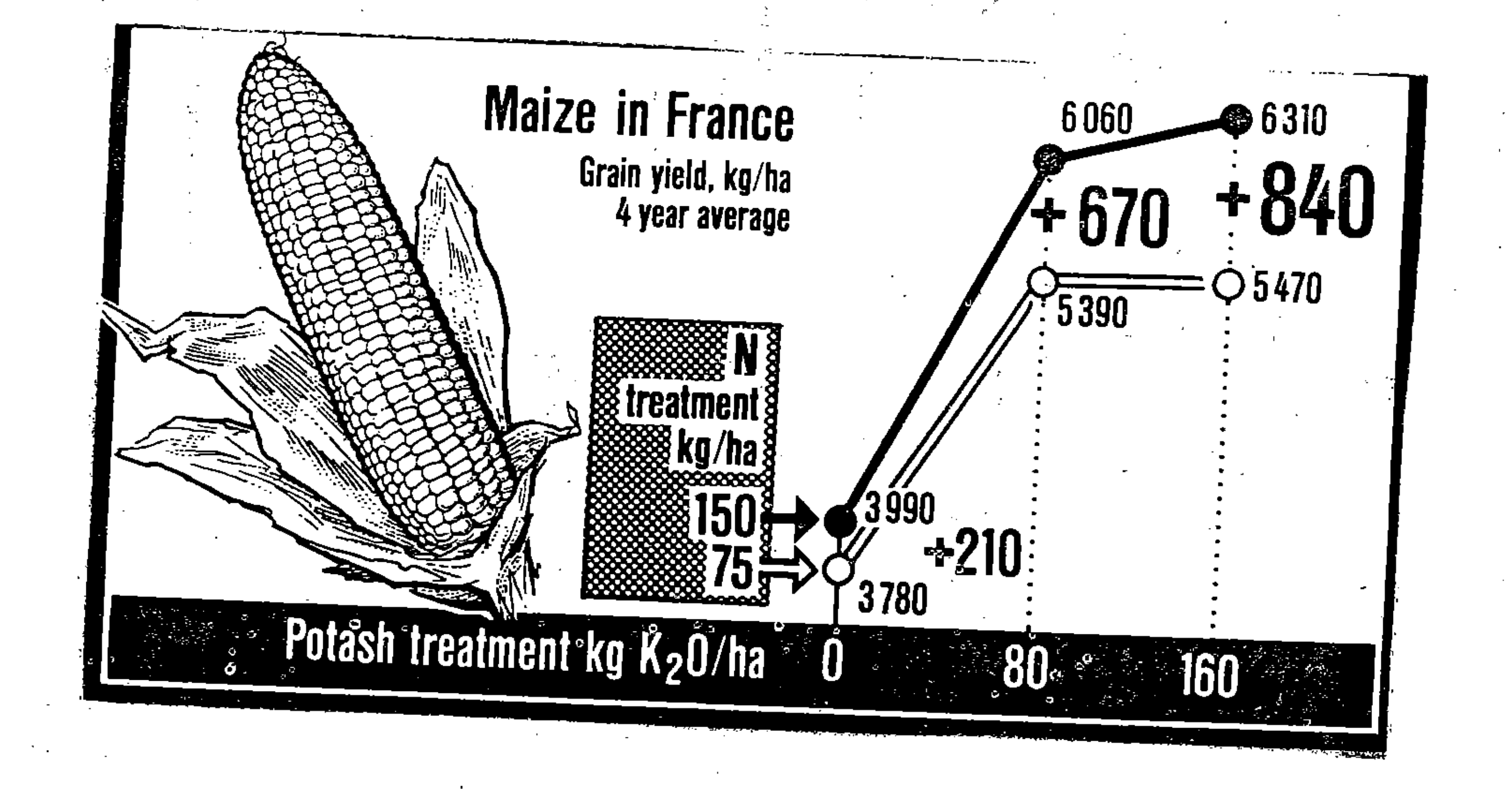
1- بدون تسميد بوتاسي	210 + كغم حبوب / هكتار
2- بإضافة 80 كغم K_2O	670 + كغم حبوب / هكتار
3- باضافة 160 كغم K_2O	840 + كغم حبوب / هكتار



الشكل (17) تأثير مستوى التسميد البوتاسي على كفاءة استجابة محصول الشعير للتسميد النايتروجيني (Macleod, 1969) .

وبهذا يمكن الاستنتاج ان اضافة 75 كغم N / هكتار يساعد على زيادة انتاجية حبوب الذرة الصفراء بمعدل اربع مرات عند اضافة المستوى 60/ كغم K_2O/ هكتار بالمقارنة مع المعاملة التي لم تسمد بالبوتاسيوم (الشكل 18) .

وقد لوحظ ان طبيعة التداخل بين النايتروجين والبوتاسيوم تكون اكثر وضوحاً في المحاصيل البقولية وذلك لقدرة هذه المحاصيل على سحب النايتروجين الجوي وتثبيته في عقد جذرية . ويساهم البوتاسيوم في زيادة قدرة هذه المحاصيل على تثبيت النايتروجين . فقد أوضحت نتائج تجربة (Haghparast-Tanha, 1975) ان العقد الجذرية للباقلاء كانت اكبر في المعاملات المسمدة بكمية كافية من البوتاسيوم بالمقارنة مع المعاملات غير المسمدة (جدود 8) . وفي تجربة أجريت في اليابان (Kemmler et al. 1978) اكدت قدرة البوتاسيوم على تشجيع تثبيت النايتروجين بواسطة المحاصيل البقولية وان تاثير البوتاسيوم كان بمعدل زيادة (128) كغم N/ هكتار سنويا في المعاملة المسمدة بمستوى 300 كغم K_2O/ هكتار بالمقارنة مع المعاملة المسمدة بمستوى صفر كغم K_2O لكل هكتار (جدول 9) . اي ان كل كغم K_2O اضيف ساعد على تمثيل 0.4 كغم من النايتروجين الجوي . ولهذا فان زيادة قدرة النبات على تثبيت النايتروجين ساعد على زيادة الانتاج .



الشكل (18) التأثير المتداخل للتسميد البوتاسي والنايتروجيني على انتاجية الذرة الصفراء
(Rapports SCPA, 1982)

جدول (8) تاثير تركيز البوتاسيوم على تثبيت الباقلاء للنايتروجين ، عدد العقد الجذرية لكل نبات ووزن العقد الجذرية
(Haghparast–Tanha, 1975)

كمية النايتروجين المثبتة بالعقد الجذرية	580	853	1130
عدد العقد الجذرية لكل نبات	233	250	251
الوزن الطري لكل عقدة جذرية (ملغرام)	6.5	7.2	8.4
تركيز البوتاسيوم في المحلول المغذي ملي مكافيء / لتر	0.5	1.5	4.5

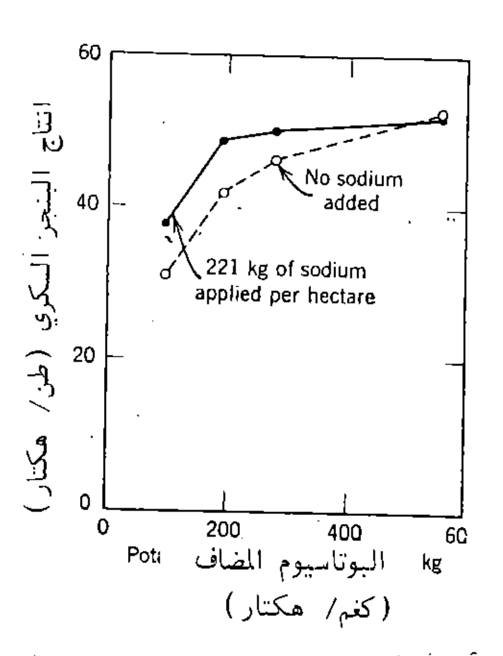
جدول (9) تثبيت النايتروجين بواسطة بعض المحاصيل العلفية المزروعة في تربة مزيجية رملية والمسمدة بمستويات مختلفة من البوتاسيوم (**Kemmler et al. 1978**).

النايتروجين المثبت ، كغم N / هكتار	
K_o = 583	تأثير إضافة K = +127.8

	معدل متوسطات خمس سنوات ، كغم / هكتار	
	كمية K_2O المضافة (كغم / هكتار / سنوياً)	
	0	300
البرسيم	54.8	192.5
الجت	61.8	179.7
المتوسط	58.3	186.1

العلاقة بين الصوديوم والبوتاسيوم

إن دراسة العلاقة بين الصوديوم والبوتاسيوم هي من ناحية قدرة ايون الصوديوم على أنْ يحل محل البوتاسيوم والقيام بجميع العمليات الحيوية والتأثيرات المنشطة التي يقوم بها البوتاسيوم أو بعضها وقد لوحظ أن الصوديوم قد يمتص بكمية لا بأس بها بواسطة الجذور ولكن قليلاً منه ينتقل الى المشاركة في العمليات الحيوية (Black, 1968) . في حين أشار (Tinker, 1965) من خلال نتائج 42 تجربة حقلية الى أنَّ قدرة كلوريد البوتاسيوم على زيادة إنتاج السكر في محصول البنجر السكري مساوية لقدرة كلوريد الصوديوم . أي أن إضافة كل من العنصرين على انفراد للمقارنة لا يؤثر على الانتاج ولهذا فإن للصوديوم قدرة إستبدالية كاملة لدور البوتاسيوم في محصول البنجر السكري . وقد يفضل هذا المحصول أيون الصوديوم كما إن زيادة امتصاص هذا العنصر يؤدي الى زيادة الانتاج حتى عند غياب ايون البوتاسيوم (الشكل 19) .



الشكل **(19)** تأثير إضافة كلوريد الصوديوم على إنتاجية السكر في محصول البنجر السكري المعامل بمستويات مختلفة من كلوريد البوتاسيوم **(Shepherd et al 1959)** .

وقد بين (Yoshida and Castaneda, 1969) بأن ايون الصوديوم له التأثير الايجابي في زيادة الانتاج في حالة نقص البوتاسيوم ولكن وفرة البوتاسيوم يقلل هذا التأثير للصوديوم (جدول 10) .

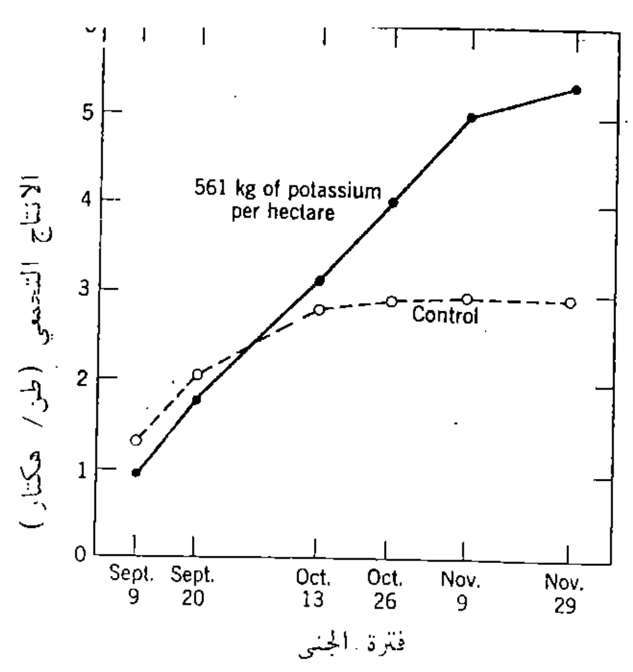
جدول (10) العلاقة بين تركيز الصوديوم والبوتاسيوم في المحلول المغذي وانعكاس ذلك على انتاجية محصول الرز.

تركيز البوتاسيوم ملي مول/ لتر	إنتاجية الحبوب غم/ سندان بدون صوديوم	اضافة Na ملي مول/ لتر
0.025	4.6	11.6
0.125	26.4	46.6
0.25	63.3	67.3
2.50	90.8	87.6
5.00	103.6	92.6

وقد لا يكون هذا الامر سائداً في جميع المحاصيل الزراعية بل قد لا يستطيع الصوديوم ان يعوض دور البوتاسيوم وهذا يعتمد على سرعة إمتصاص النبات للصوديوم.

أعراض نقص البوتاسيوم

إن نقص البوتاسيوم يؤدي الى قصر الساق وإنخفاض الانتاجية ورداءة نوعية الثمار. ويؤدي نقص البوتاسيوم أيضاً الى إنخفاض محتوى مكونات النبات من الكاربوهيدريت كما يساهم في ظهور التجعدات والذبول داخل بعض الثمار خصوصاً الطماطا والبطاطا، ويعمل على غياب اللون في بعض الثمار مثل التفاح وفي حالة الطماطا يكون معدل تطور اللون بطيئاً. وان نقص البوتاسيوم يؤدي الى رداءة نوعية اوراق التبغ لانه يقلل من الألياف المميز في الاوراق. كما يعمل على تكوين حبوب فارغة في محاصيل الحبوب وتكون قرون البقوليات فارغة واللهانة غير ملفوفة وحموضة الحمضيات قليلة مع إنخفاض محتوى الدهون في حبوب المحاصيل الزيتية. كما إن نقص البوتاسيوم يعجل مرحلة النضج (الشكل 20). ولكن يبقى انتاج المعاملات المسمدة بالبوتاسيوم اعلى من المعاملة غير المسمدة اذا إستثنينا فترات الجني الاولى والثانية.



الشكل (20) الانتاج التجميعي أو التراكمي **Cumulative yield** لبذور القطن المأخوذ بفترات مختلفة من معاملات عوملت بالبوتاسيوم والأخرى غير معاملة (**Bennett et al 1965**) في تربة مزيجية رملية .

وهذا يعني إن للبوتاسيوم دوراً كبيراً في زيادة الانتاج . وقد أشار (Wang et al 1953) الى دور البوتاسيوم في زيادة قدرة النبات على مقاومة البرد (درجات الحرارة المنخفضة) إذ ان زيادة محتوى النبات من البوتاسيوم وتقليل محتواه من النايتروجين يساعد على مقاومة اكبر من قبل النبات لظروف انخفاض الحرارة (جدول 11) . وتتلخص ميكانيكية دور البوتاسيوم في قدرته على تنشيط الانزيمات الناقلة للكاربوهيدريت التي تفقد نشاطها في ظل ظروف البرد مما يؤدي ذلك الى زيادة تركيز الكاربوهيدريت الذائبة إذ يعرقل ذلك عملية التركيب الضوئي والعمليات الحيوية الاخرى . ولهذا فإن للبوتاسيوم دوراً هاماً في فصل الشتاء للحفاظ على النبات .

جدول (11) تأثير البوتاسيوم على نسبة النباتات الميتة بسبب البرد ، محتوى جذور النبات من الكاربوهيدريت وعلى محتوى البوتاسيوم في الجذور المحسوبة في اجزاء نبات البرسيم المنزرع في أواخر الخريف (Wang et al 1953).

محتوى البوتاسيوم المتبادل ملغم/ غرام تربة	درجة حرارة عصارة جذور النبات (°م)	النباتات الميتة بسبب البرد (%)	محتوى البوتاسيوم في جذور النبات (%)	محتوى الجذور من الكاربوهيدريت (%) السكر sugars	النشأ starch
50	-1.06	50	0.44	9.5	8.1
150	-1.24	20	0.63	12.6	9.4

إن نقص البوتاسيوم يؤدي الى تلون الاوراق بلون بني والى موت الاوراق القديمة كما تكون قمم الاوراق محروقة وغالباً ماتنتشر بقع فاتحة اللون على سطح الورقة وتكون الورقة صغيرة الحجم . إن البوتاسيوم عنصر متحرك جداً في النبات ويتحرك داخل النبات الى الاجزاء الحديثة التكوين تاركاً الاجزاء القديمة تعاني من النقص (جدول 12).

جدول (12) اعراض نقص البوتاسيوم ومحتوى اوراق التبغ بعد اضافة مستويات مختلفة من البوتاسيوم بصورة كبريتات البوتاسيوم (Bowling & Brown, 1947).

البوتاسيوم المضاف كغم/ هكتار	اعراض نقص البوتاسيوم	محتوى المادة الجافة من البوتاسيوم (%) الاوراق السفلى	الاوراق المتوسطى	الاوراق العليا
0	شديد جداً	0.6	0.6	1.3
22	شديدة	1.0	1.6	2.2
45	متوسطة	2.4	2.5	2.8
112	لاتوجد اعراض نقص	5.3	4.4	3.1
157	لاتوجد اعراض نقص	6.2	5.4	4.7

وبشكل عام فإن محتوى المادة الجافة من (2-3%) من الحدود المطلوبة وإن الزيادة عن هذا الحد قد تؤدي في معظم الاحوال الى حالة السمية في حين يمكن اعتبار 2% الحد الحرج لمعظم المحاصيل الزراعية . ولابد من القول بأن لهذه النسبة الحرجة عوامل خاصة تحدد قيمتها في كل جزء من اجزاء النبات . فنوع النبات ومرحلة نموه لها دور كبير في تحديد المقاسات العامة المطلوبة لمحتوى البوتاسيوم في أنسجة النبات . فالبوتاسيوم عنصر يقل محتواه في أنسجة النبات مع تقدم العمر بسبب إنخفاض الاحتياج العام لهذا العنصر .

الأسمدة البوتاسية

1- كلوريد البوتاسيوم KCl

وهو سماد رخيص بسبب قلة تكاليف صناعته . يحتوي على البوتاسيوم بنسبة 50% $(60\% K_2O)$ والكلوريد بنسبة 47.5% ومحتواه من كلوريد الصوديوم (2.9-2.8%) . لذا فانه يعتبر من الاسمدة المفضلة في مزارع البنجر السكري واللهانة ويعدُّ ايضاً سماداً غير مناسب للاراضي المتأثرة بالملوحة بسبب محتواه العالي من الكلوريد .

2- كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4

وهو سماد غالي الثمن بسبب ارتفاع تكاليف صناعته يحتوي على البوتاسيوم بنسبة 43% $(52\% K_2O)$ والكبريتات بنسبة (18.5-17%) والكلوريد بنسبة (2.5-1.0%) والصوديوم بنسبة (1-0.1%) . يفضل هذا السماد لمختلف المحاصيل الزراعية مثل التبغ والبطاطا وغيرها من المحاصيل الاقتصادية .

3- نترات البوتاسيوم

هو سماد جيد لكونه مصدراً لتجهيز التربة بالبوتاسيوم والنايتروجين يحتوي على البوتاسيوم بنسبة 37% $(44\% K_2O)$ وعلى النايتروجين بنسبة 13% ويستخدم هذا السماد غالباً لتسميد الحدائق واشجار الفاكهة ومحاصيل زراعية اخرى وبالأخص ذات الحساسية العالية للكلوريد . مثل التبغ والقطن .

4- السماد البوتاسي المخلوط

وهو عبارة عن خليط من كبريتات البوتاسيوم وكبريتات المغنيسيوم ويحتوي هذا السماد على بوتاسيوم بنسبة 18% $(22\% K_2O)$ ومغنيسيوم بنسبة 11% $(18\% MgO)$ وعلى كبريتات بنسبة 22% وعلى كلوريد بنسبة (2.30-1.0%) وعلى صوديوم بنسبة (0.78-0.72%) . ويعتبر هذا السماد كمصدر مجهزاً للبوتاسيوم والمغنيسيوم والكبريت بنفس الوقت .

توجد أسمدة أخرى للبوتاسيوم بعضها اسمدة اعتيادية أي يعتبر مصدراً مجهزاً للبوتاسيوم فقط مثل كاربونات البوتاسيوم وبيكاربونات البوتاسيوم . في حين توجد هنالك أسمدة مركبة تجهز التربة عناصر غذائية أخرى يحتاجها النبات مثل سماد فوسفات البوتاسيوم والاسمدة المركبة (NPK) المختلفة بالاضافة الى تجهيزها بالبوتاسيوم .

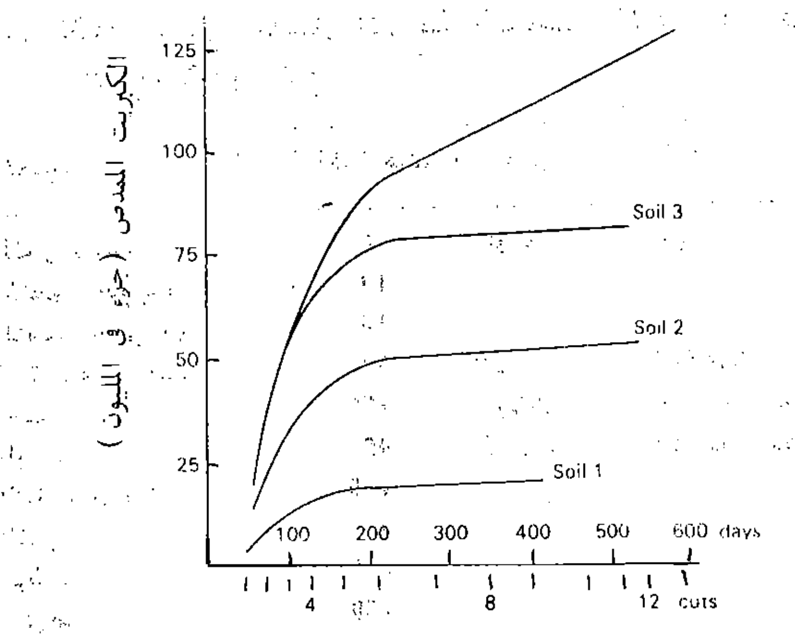
إن معظم الاسمدة البوتاسية ذائبة بالماء ، لذا فإن الاختيار يتم على اساس مقدار الضرر الذي سيعمله الايون المرافق وكذلك تكاليف صناعة السماد والمردود الاقتصادي المتكون بسبب الجرعة المضافة .

كمية البوتاسيوم المضافة

سبق أنْ اشرنا الى أهمية عنصر البوتاسيوم لنمو النبات ودوره المؤثر في مختلف العمليات الحيوية داخل النبات . لذا فإن متوسط احتياج النبات من البوتاسيوم يقع بحدود 1-3% بوتاسيوم في المادة الجافة وقد تزداد هذه النسبة لتصل الى 8% او اقل في بعض المحاصيل . ان معدل كمية البوتاسيوم المضافة بهيئة أسمدة للتربة يتحدد وفقاً للنقاط التالية :

(1) محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز ومعدل انطلاقه .
(2) نوع المحصول المراد زراعته وطول موسم النمو .
(3) مستوى الانتاج المطلوب .
(4) عدد المحاصيل الزراعية المراد زراعتها لتغطية الجرعة المطلوب إضافتها .
(5) خصائص التربة الكيمياوية والفيزياوية .
(6) نوعية المجموع الجذري ومدى إنتشاره .
(7) وقت الزراعة .

إنَّ من العوامل المحددة لكمية البوتاسيوم الى التربة لاي محصول يراد زراعته هو محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز . فقد اشارت نتائج (Barber, 1970) الى أن اضافة الاسمدة البوتاسية بشكل اعتباطي للتربة له مردود سلبي على الانتاج وبالأخص عندما يكون محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز عالياً .(الشكل 21) . وهذه النتائج تدفعنا الى ادراك اهمية تقدير الكمية الجاهزة واعتبارها اساساً مهماً لتقدير الاحتياجات السمادية .



الشكل (21) العلاقة بين كمية البوتاسيوم المضافة لترب مختلفة المحتوى من البوتاسيوم المتبادل والانتاج لمحصول الذرة الصفراء .

وإن لنوع المحصول اهمية لا يمكن تجاهلها . فإن كان الهدف الحصول على انتاج مناسب يتطلب معرفة الإحتياج الفعلي لاي محصول . فقد بينت النتائج التي توصل اليها (Barber, 1970) أن معدل احتياج محاصيل الحبوب (الصغيرة) مثل الشعير اقل من محاصيل الحبوب (الكبيرة) مثل الذرة الصفراء . فقد وجد ان معدل استجابة المحاصيل المختلفة المزروعة في دورة زراعية طويلة استمرت 18 سنة للبوتاسيوم المضاف كان : الذرة الصفراء 29% ، فول الصويا 24% ، الحنطة 6% ، البرسيم والجت 26% . وقد بين (Krikbye & Mengel, 1980) اختلاف إحتياج المحاصيل للبوتاسيوم (جدول 13) .

	التربة 1	التربة 2	التربة 3	التربة 4
البوتاسيوم في الطين (%)	1.96	2.66	1.69	1.78
البوتاسيوم المتبادل ملغم لكل 100 غرام تربة	9.0	14.0	33.5	72.0

جدول (13) احتياج المحاصيل الزراعية للبوتاسيوم الجاهز خلال فترة النمو اللازمة لأقصى أنتاج .

المحصول	الكمية (كغم/ هكتار)	المحصول	الكمية (كغم/ هكتار)
الشعير (حبوب)	10	اللهانة	120
الحنطة (حبوب)	14		
الشوفان (حبوب)	14		
الذرة الصفراء (حبوب)	37	العنب	110 كغم/ هكتار/ سنوياً
الجت	170	البرتقال	120 كغم/ هكتار/ سنوياً
البرسيم	95	الليمون	115 كغم/ هكتار/ سنوياً
التبغ (اوراق)	110		
القطن	33		
البطاطا	140		
الطماطا	150		

ولا يمكن تجاهل طول موسم النمو وطبيعة المجموع الجذري ومدى انتشاره في تحديد تلك الكمية اللازمة لنمو افضل للمحاصيل الزراعية . كما تؤدي الخواص الفيزياوية والكيمياوية دوراً هاماً في تحديد الكمية المطلوبة ولابد من الاشارة هنا الى التركيب المعدني للتربة وقدرة المعادن المختلفة على تثبيت البوتاسيوم . عموماً فإن الترب ذات القدرة التثبيتية للبوتاسيوم العالية تحتاج اضافة عالية من الاسمدة للوصول الى افضل مستوى مطلوب . كما إن لقوام التربة تأثيراً واضحاً على تحديد الكمية ، فالترب التي تمتلك مواقع P-position فقد أو الترب الرملية تحتاج اضافة محددة تتناسب مع قدرة هذه الترب على الاحتفاظ بالبوتاسيوم ضد تأثير سرعة الغسل والفقد مع مياه الري .

طريقة وموعد اضافة الاسمدة البوتاسية

تضاف الاسمدة البوتاسية للمحاصيل الزراعية بطرق مختلفة اهمها :

(1) تلقيماً banding مع أو قرب البذور اثناء الزراعة .
(2) نثراً broadcasting على السطح .
(3) نثراً على السطح ثم الخلط مع تربة الطبقة السطحية . ويمكن اضافته بعد الحراثة مباشرة قبل التنعيم .

وتحدد الكمية المضافة طريقة الاضافة ، فعندما تكون الكمية قليلة فان طريقة الجور ستعطي كفاءة اعلى من طريقة النثر السطحي . فقد وجد (.Welch et al 1966) ان كفاءة طريقة الاضافة السطحية للبوتاسيوم المضاف للذرة الصفراء تقع بحدود 0.33 الى 0.47 من كفاءة الأضافة بطريقة التلقيم في حين ان كفاءة طريقة الخلط مع تربة الطبقة السطحية تقع بحدود 0.69 الى 0.88 من كفاءة طريقة التلقيم عندما كانت الكمية المضافة تتراوح بين 0 الى 74 كغم/ هكتار . وقد اكدت ذلك النتائج التي توصل اليها (Parks & Walker, 1969) التي اشارت الى ان كفاءة الاضافة السطحية تشكل 73% من كفاءة الاضافة بجور عندما كانت الكمية المضافة تتراوح بين 0-84 كغم/ هكتار ولخصائص التربة دور هام في اختيار طريقة الاضافة ، كما ان خصائص جذور المحصول المراد زراعته وطبيعته ومحتوى التربة من الرطوبة لها دور في ذلك ايضاً وتفضل طريقة الاضافة بالتلقيم في الاراضي ذات السعة التثبيتية العالية غالباً . وعند وفرة الرطوبة فإن طريقة النثر السطحي مع الخلط بالتربة سيكون لها تأثير فعال في زيادة البوتاسيوم للنبات ، كما تفضل هذه الطريقة للمحاصيل ذات المجاميع الجذرية السطحية الانتشار .

وبشكل عام إن معدل الاحتياج يقع بحدود 40 الى 250 كغم/ هكتار سنوياً معتمداً على نوعية النبات وخصائص التربة مع تقدر دقيق لحجم الضائعات والخسائر (كالغسل والتثبيت) وكمية العائد والمنطلق من خلال عملية التجويه الى المحلول . ومن هذه الخصائص تتحدد طريقة الاضافة المناسبة . وغالباً ماتضاف الاسمدة البوتاسية قبل الزراعة بفترة قليلة او مع الزراعة دفعة واحدة ، وتقسم بدفعتين إن كان موسم النمو طويلاً .

قائمة المصادر

1- Amberger, A., Gutser, R. and Teicher, K. (1974) Plant and Soil 40: 269-284

2- Arnoid, P.W. and Close, B.M. (1969) J. Agric. Sci. Comb, 57, 381.

3- Baden, W. (1965) Kali-Briefe, Fachgeb. 7, 1.

4- Barber, S.A. (1970) Int. Symp. Soil fert. New Delhi 1: 232-256.

5- Bennett, O.L., Rouse, R.D., Ashley, D.A. and Doss, B.D. (1965) Agron. J. 57: 296-299.

6- Black, C.A. (1968) Soil-Plant Relationship 2nd ed Wiley, New York.

7- Bolt, G.H, Sumner, M.E. and Kamphorst, A. (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 294-299.

8- Bowling, J.D. and Brown, D.E. (1947) U.S. Dept. Agr. Tech. Bul. 933.

9- Braunschweig, L.C. & Grimme, H. (1973) Z. PFl. Ernahruig U. Bodenkunde, 134: 246-256.

10- De Mumbrum, L.E. and Hoover, C.D. (1958) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 222-225.

11- Gaafer, A. (1980) In 6th Intra. Scientific Conference (1982) Inst. Tropical Agri. Univ. Leipzig GDR.

12- Grimme, H., Nemeth, K. and von Braunschweig, L.C. Landw. Forsch. 26/ I. Sonderh., 165-176.

13- Haeder, H.E.; Mengel, K. and Forster, H. (1975) J.Sci. Fd. Agric. 24: 1479-1487.

14- Haghparast-Tanha (1975) In 6th Intra. Scientific Conference (1982) Inst. Tropical Agri. Univ. Leipzing GDR.

15- Havlin, J.L., Westfall, D.G. and Olsen, S.R. (1985) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 49: 371-376.

16- Hambert, R.P. (1958) Potassium Symposium. P. 319-344

17- Jackson, B.L.J. and During, C. (1979) Plant & Soil 51: 197-204.
18- Kaila, A. (1965) Soils & Fert. 29: 818.
19- Kock, K. and Mengel, K. (1978) Agron. J. 69: 477-480.
20- Lindsay, w.l. (1979) Chemical equilibria in Soil Wiley, New Youk.
21- Macleod, L.B. (1969) Agron. J. 61: 26-29.
22- Mengel, K. (1985) Adv. in Soil Sci. 2: 65-131.
23- Mengel, K. and Kikby, E.A. (1982) Principles of Plant Nutrition. Inter. Post. Inst. Bern.
24- Mengel, K. and Wiechens, B. (1979) Z.P flanzenera hr. Bodenk. 142: 836-847.
25- Mortland, M.M. (1961) Soil Sci. 91: 11-13.
26- Mutscher, H. (1983) In the 6th Inter. Scientific Conference (1982) Inst. Tropical Agri. Univ. Leipzig GDR.
27- Page, J.B. and Baver, L.D. (1939) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 4: 150-155.
28- Page, A.L. & Ganjel, T.J. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 199-202.
29- Parks, W.L. and Walker, W.M. (1966) Manuscript Submitted to Agron. J.
30- rapports. SCPA (1982) Mulhouse/ France.
31- Reitemier, R.F. (1951) Soil Potassium Acadmic Press. Inc. N.Y. 3: 113-164.
32- Rich, C.I. (1972) In Potassium in Soil P. 15-31.
33- Scheffer, F. and Schachtschabe, P. (1976) Textbook of Soil Science 9th ed stutagart. Berns.
34- Scott, A.D. and Smith, S.J. (1966) Biochim, Boiphys. Acta. 12: 401-404.
35- Shepherd, L.N., Shickluna, J.C. and Davis, J.F. (1959) Amer. Soc. Sugar Beet Technol. 10: 603-608.
36- Stanford, G. and Pierre, W.H. (1947) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 155-160.

37- Tablabia, M.A. and Hanway, J.J. (1969) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 105.

38- Tisdal, S.L. and Nelson, W.L. (1975) Soil fertility and fertilizer 3rd ed. Macmillan Pubh. Co., Inc.

39- Verma, G.P. (1963) Ph. D Thesis, Iowa State Univers.

40- Wang, L.C., Attoe, O.J. and Truog, E. (1953) Agr. J. 45. 381-384.

41-Welcl, L.F., Johnson, P.E., Mckibben, G.E., Boone, L.V. and Pendleton, I.W. (1953) Agron. J. 58-618-621.

24- Williams, M.C. (1960) Plant Physiol. 35: 500-505.

43- Yoshida, S. and Castaneda, L. (1969) Soil Sci. Plant Nutr. 15: 183-186.

الفصل الخامس

الكبريت ـ الكالسيوم ـ المغنيسيوم

1- الكبريت Sulpher

يعتبر عنصر الكبريت عنصراً هاماً في تغذية النبات . ويوجد في القشرة الارضية بنسبة 0.11% . ويختلف محتوى النبات من الكبريت ومساهماته في بناء الانسجة المختلفة وفقاً لنوع النبات ومرحلة نموه . ويكون محتوى النبات من الكبريت مساوياً لمحتواه من الفسفور غالباً .

مصادر الكبريت

يوجد الكبريت بالتربة أما بصورة معدنية وأما بصورة عضوية ويكون المصدر العضوي هو المصدر الرئيسي غالباً كما في Peat soil الذي يشكل نسبة لا تقل عن 90% من الكمية الكلية بالتربة . وبغض النظر عن المصدر العضوي الذي لا يمكن التقليل من اهميته الا أن المصدر الاصلي وبشكله العام هو الصخور ذات الاصل البركاني ومنها أنتشر الكبريت في التربة نتيجة لعملية التجويه . وللأيضاح لابد من دراسة جميع مصادر الكبريت كل على انفراد كالآتي :

1- الكبريت المعدني

ينتشر الكبريت المعدني نتيجة لعملية تجويه الصخور ذات الاصل البركاني ، لذا فإن محتوى الترب سيختلف وفقاً لنوع مادة الاصل وطبيعة التجويه . وتحتوي معادن السيليكا غالباً على أقل من 0.01% من الكبريت الكلي . أما الصخور النارية فإنها تحتوي على نسبة اعلى قد تصل الى ما بين 0.02-0.07% . ويعتمد محتوى الصخور الرسوبية على مصدرها (جدول 1) .

جدول (1) محتوى بعض الصخور للكبريت المعدني (Ricke, 1960)

النموذج	الكبريت الكلي (S%)	الكبريت ـ بهيئة كبريتات (% fo total-S)
طين	0.22	23
صخور رملية sandstone	0.02	77
صخور كلسية limestone	0.12	19
صخور رسوبية بحرية sea sediments	0.13	99

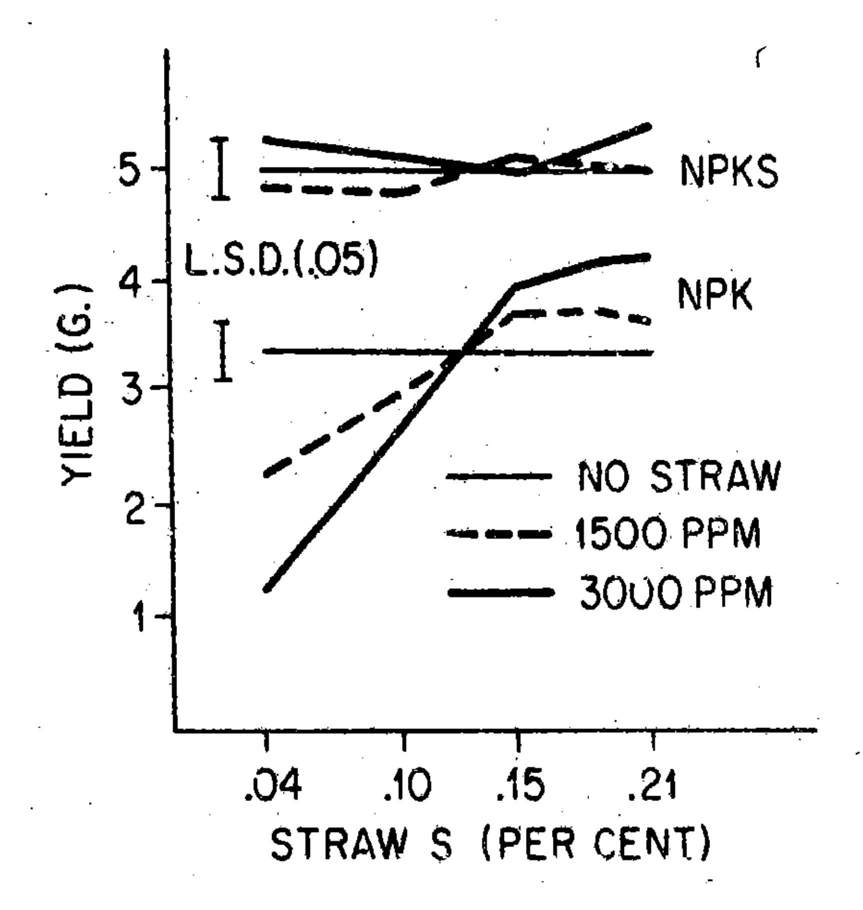
ويوجد الكبريت بالصخور على هيئة كبريتيد Sulphide مثل كبريتيد النحاس والحديد والنيكل Iron, nickel and Copper sulphides وخلال عملية التجويه يتأكسد مكوناً الكبريتات وبعد عملية التحرر والانطلاق يتعرض الى العديد من التفاعلات كالامدصاص والتثبيت والترسيب وغيرها .

2- الكبريت العضوي

إن اكثر من 90% من الكبريت يوجد بصورة عضوية إما بالدبال أو في المخلفات النباتية والحيوانية المضافة الى التربة . وهذه المكونات تتحلل بفعل احياء التربة ولهذا ينطلق الكبريت على هيئة كبريتات ويترك جزء لا بأس به من الكبريت في دبال التربة .

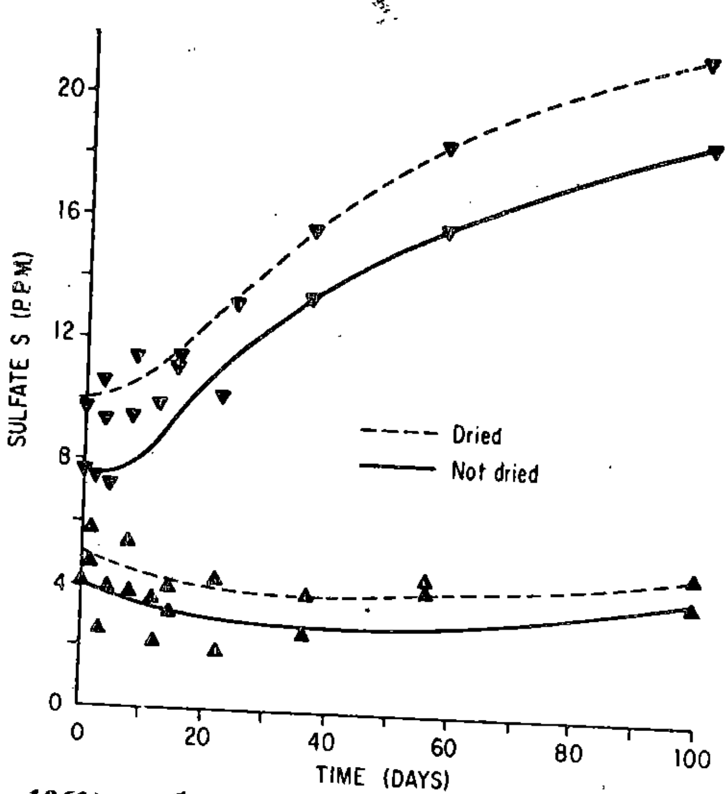
معدنة الكبريت العضوي

إن وجود الكبريت بهيئة مركبات عضوية يعني وفرته بصورة غير جاهزة للنبات . وبهذا تأتي أهمية تحلل هذه المركبات خلال عملية المعدنة mineralization بفعل احياء التربة المتخصصة وإن من ابرز العوامل التي تؤثر على سير عملية المعدنة هو محتوى المادة العضوية من الكبريت ، إذ ان زيادة هذا المحتوى يشجع عملية المعدنة . اي ان الكمية المتحررة من الكبريت العضوي بصورة معدنية تكون قليلة عندما يكون محتوى المادة العضوية قليلا . ويمكن ملاحظة ان محتوى أي مادة عضوية يجب أن لا يقل عن 0.15% لان ذلك يشجع على تدهور الكبريت المعدني للتربة . وكذلك فإن التدهور لمحتوى كبريت التربة المعدني يحصل ايضاً عندما تكون C:S و N:S عالية أي يكون محتوى الكبريت العضوي بالمادة العضوية واطئاً . ويمكن بيان ذلك من خلال الشكل (1) . الذي



يظهر أن اضافة مخلفات الحنطة القليلة المحتوى بالكبريت الى التربة المسمدة بالنايتروجين والفسفور والبوتاسيوم والى تربة أخرى مسمدة بنفس الاسمدة السابقة بالاضافة الى الكبريت ثم زرعت هذه الترب بمحصول الحنطة وبهذا كان لمخلفات الحنطة المضافة الى التربة غير المعاملة بالكبريت تأثير على نمو الحنطة المزروعة كما أن اضافة الكبريت مع الاسمدة الاخرى كان له التأثير الفعال في عدم تدهور الكبريت العضوي والمعدني. إن اضافة كميات كبيرة من المخلفات ذات المحتوى القليل من النايتروجين والكبريت لها انعكاسات سلبية على نايتروجين التربة وكبريتها اذا لم تسمد هذه الترب بكميات من النايتروجين والكبريت.

وقد اشار (Barrow, 1961) الى أن التجفيف يشجع عملية المعدنة mineralization (الشكل 2). وان ميكانيكية الترطيب والتجفيف تزيد من تكسر المادة العضوية وتحللها وبذلك تساهم في زيادة معدل معدنة الكبريت من مصادره العضوية المختلفة.



الشكل (2) تأثير تجفيف تربتين قبل الحضن على معدنة الكبريت (Barrow, 1961) .

ولابد من الاشارة هنا الى الظروف المناسبة لنشاط الاحياء الدقيقة المسؤولة عن عملية المعدنة كالتهوية ودرجة الحرارة والرطوبة و pH التربة ومحتوى المكونات العضوية من الكاربون العضوي وغيرها من العوامل التي تؤدي دوراً منشطاً لعملية المعدنة عند وجودها بحالة مثالية .

3- الكبريت الجوي

يوجد الكبريت في الهواء الجوي بكمية كبيرة قد تصل الى 220 مليون طن . وان حوالي نصف هذه الكمية توجد بهيئة كبريتد الهايدروجين (H_2S) وان مصدرها الأصلي المحيطات والبحار . وتحتوي مياه البحار على كمية قد تصل الى 44 مليون طن كبريت وقد جاءت هذه الكمية من اصل بركاني . ويوجد الكبريت ايضاً بهيئة غاز SO_2 في الهواء الجوي . وبشكل عام يحتوي هواء التربة على 10% من الكبريت الكلي وبهيئة غاز SO_2 وكذلك غاز H_2S وغالباً ماتكون كمية الغاز الاخير قليلة رغم كون تأثير طبيعة المنطقة ومدى تأثيرها بمصادر التلوث من المصانع وكذلك بالبراكين ومصانع الفحم لها الاثر الاكبر في تحديد النسبة بين الغازين .

ينتقل الكبريت الجوي بهيئته SO_2 الى التربة مباشرة او بعد سقوط الامطار. وتختلف كمية SO_2 المضافة الى التربة بواسطة الامطار من منطقة الى أخرى وفقاً لانتشار المصانع وتأثيرها على محتوى الهواء الجوي من الكبريت وقد تصل الكمية من 10 الى 20 كغم لكل هكتار وقد تدمص التربة الكبريت الجوي مباشرة بالأخص عندما تكون رطبة. كما ان للنبات قدرة على الامتصاص المباشر لكبريت الهواء الجوي. ويعتقد ان النبات باستطاعته ان يأخذ نصف احتياجه (50%) من الهواء الجوي حتى عند توفر الكبريت بكمية مناسبة بالتربة. فقد اشار (Faller, 1970) الى ان انتاج محصول الذرة الصفراء يزداد مع زيادة تركيز SO_2 في الهواء الجوي وان انخفاض التركيز في الهواء الجوي يؤثر على الانتاج وكذلك على طبيعة الاوراق. وقد اشار (Davies, 1980) الى ان زيادة تركيز SO_2 في الهواء الجوي وهواء التربة يعتبر امراً ملائماً لنمو النبات وان استجابة النبات تختلف وفقاً لعمر النبات ونوعه.

وقد يضاف الكبريت الى التربة على هئية اسمدة كيمياوية معدنية او عضوية او محمولاً بواسطة مياه الري.

تفاعلات الكبريت بالتربة والعوامل المؤثرة

يتعرض الكبريت المعدني المتحرر من خلال عملية المعدنة او التجوية الى تفاعلات مختلفة مع مكونات التربة اذ تؤثر سلباً في معظم اتجاهاتها على جاهزية الكبريت للنبات. وسنحاول التطرق باختصار الى هذه التفاعلات والعوامل المؤثرة عليها:

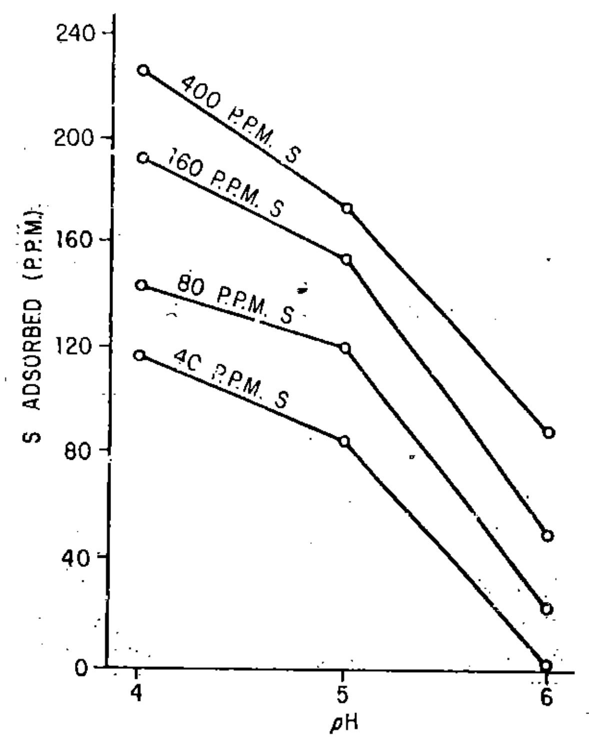
اولاً ـ تفاعلات الامدصاص

يتعرض الكبريت المعدني الذائب في محلول التربة بهيئة ايونات الكبريتات ($SO_4^=$) الى تفاعل خاص مع بعض معادن التربة وبالاخص مجموعة معادن 1:1 مثل معدن الكاؤلينات والاكاسيد الحرة للالمنيوم والحديد مما يؤدي الى عرقلة جاهزية الكبريت للنبات. وقد اشارت الكثير من الابحاث الى أهمية دراسة هذا التفاعل والعوامل المساعدة على تنشيطه او عرقلته التي يمكن اجمالها بالآتي:

1- درجة تفاعل التربة pH

ان انخفاض قيمة pH التربة يساعد على تشجيع امدصاص الكبريت بواسطة غرويات التربة التي تكتسب في الوسط الحامضي شحنة موجبة معاكسة لشحنة الكبريتات السالبة غالباً. ويمكن القول بإن الامدصاص الايوني للكبريتات يكون

سائداً في الترب الحامضية وينخفض بشكل معنوي بالترب القاعدي التفاعل (Kamprath et al 1956) ولهذا فاننا لا نتوقع اي دور لهذا التفاعل في عرقلة جاهزية الكبريت في الترب العراقية ويجدر الأشارة هنا الى ان زيادة كمية الكبريت المضافة يؤدي الى زيادة قدرة التربة الأمدصاصية وصولاً لتشبيع جميع مواقع الامدصاص (الشكلا 3) وغالباً مايؤدي ارتفاع قيم pH الترب الى انخفاض قابلية الترب لامدصاص الكبريت .



الشكل (3) تأثير قيم pH محلول التربة واختلاف تركيز الكبريت المضاف للتربة على كميه الكبريتات الممدصة (Kamprath et al 1956) .

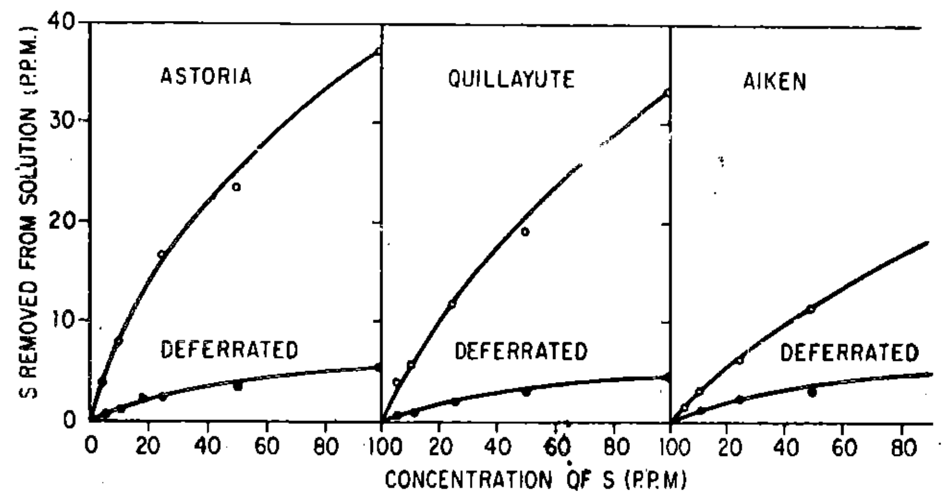
2- محتوى التربة من الاكاسيد الحرة

يدمص الكبريت امدصاصاً نوعياً بواسطة الاكاسيد والهايدروكسيدات الحرة النشطة . وتحصل حالة الامدصاص في حالة كسب سطح الاكاسيد للشحنة الموجبة وكذلك عندما تكون متعادلة وفقاً للآتي :

$$\left[M \begin{matrix} OH_2 \\ OH_2 \end{matrix} \right] + HSO_4^- \rightleftharpoons \left[M \begin{matrix} OH_2 \\ HSO_4 \end{matrix} \right] + H_2O$$

$$\left[M \begin{matrix} OH_2 \\ OH \end{matrix} \right] + HSO_4^- \rightleftharpoons \left[M \begin{matrix} OH_2 \\ HSO_4 \end{matrix} \right]^{O} + OH^-$$

وقد اشار (Chao **et al**., 1962) الى تأثير ازالة الاكاسيد الحرة للحديد على امدصاص الكبريتات بثلاث ترب مختلفة (الشكل 4) .



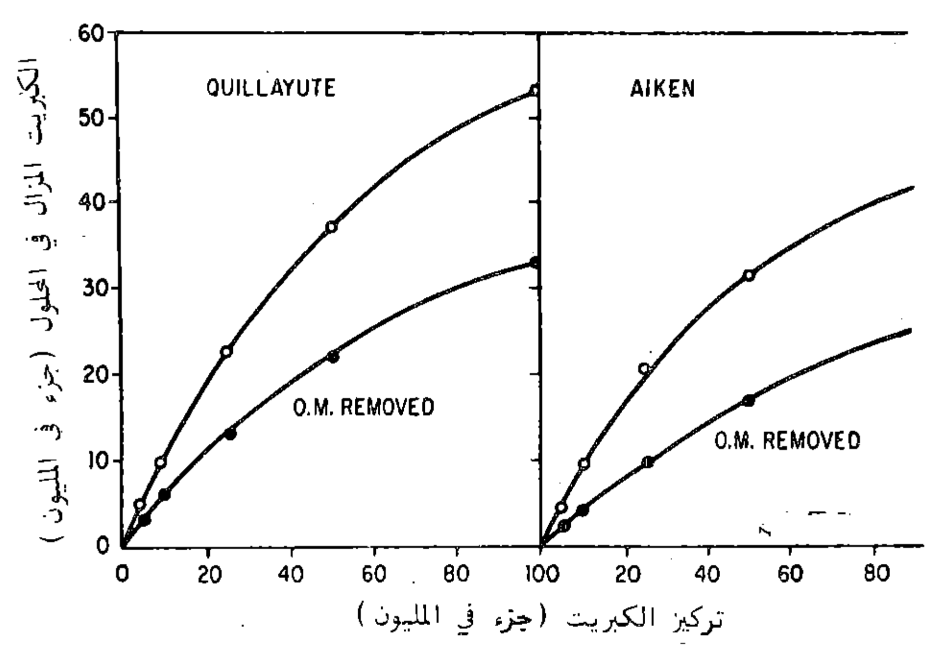
الشكل **(4)** تاثير ازالة الاكاسيد الحرة للحديد على امدصاص الكبريتات في ثلاث ترب ذات قدرة امدصاصية مختلفة .

3- محتوي التربة من المادة العضوية

ان وجود المادة العضوية يساعد على زيادة امدصاص الكبريتات . فقد أوضح (Chao **et al**., 1962) هذا التأثير في الترب الحامضية التفاعل (الشكل 5) . ويمكن وصف التفاعل بالآتي :

$$R\text{-}NH_3 + H^+ \rightleftharpoons R\text{-}NH_4^+ + SO_4^{=} \rightleftharpoons R - NH_4\,(SO_4)^-$$

الوسط الحامضي



الشكل (5) تأثير ازالة المادة العضوية على امدصاص الكبريتات في ترتبين ذات قدرة امدصاصية مختلفة (Chao et al. 1962).

4- تأثير نوع الايون السائد على السطح

إن للايون الموجب السائد على السطح تأثيراً على امدصاص الكبريتات إذ لوحظ إن معدل الامدصاص يزداد عندما يكون الايون السائد االالمنيوم بالمقارنة مع سيادة ايون الكالسيوم أو البوتاسيوم. وقد أوضح (Chao et al. 1963) تأثير الايون السطحي وفقاً للآتي في زيادة قدرة التربة على امتصاص الكبريتات.

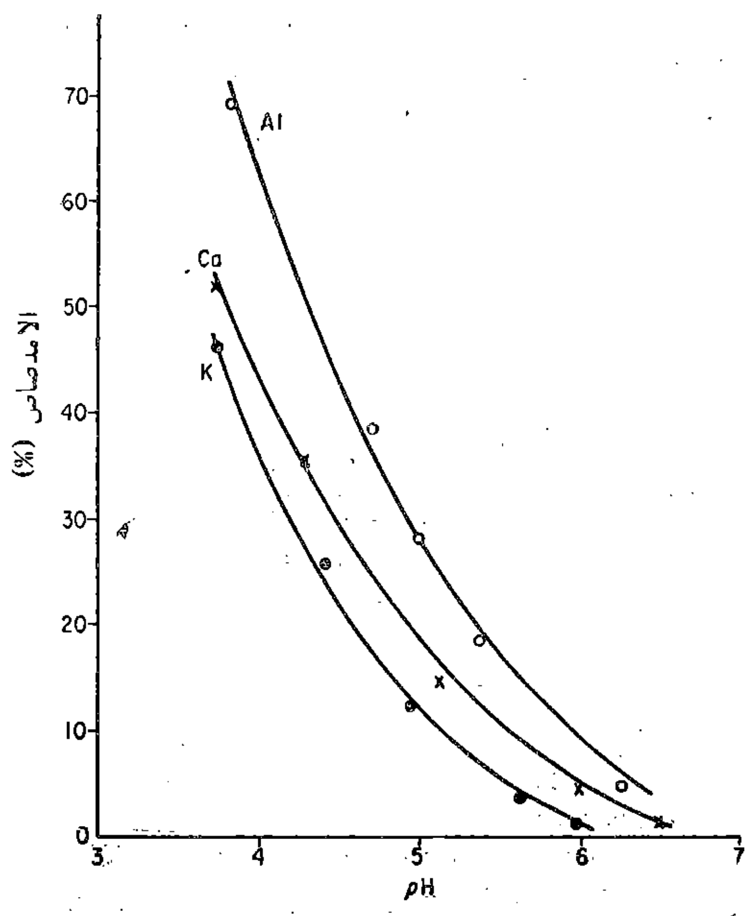
$$Al > Ca > K$$

ويمكن إيضاح ذلك التأثير في الشكل (6) الذي يبين تأثير الكاتيونات السائدة على السطح مع تغير pH التربة على امدصاص الكبريتات.

5- تأثير نوع معدن الطين

أشارت عدة دراسات على تأثير نوع معدن الطين على امدصاص وجاهزية الكبريتات في الترب. فقد بينت نتائج (Chao et al. 1962) إن قدرة الترب على امدصاص الكبريتات تتحدد أيضاً وفقاً لنوعية معدن الطين ويمكن ترتيب قدرة المعادن وفقاً للآتي

الكاؤولينايت	>	الأليست	>	البينتونايت
Kaolinite	<	Sllite	<	bentonite



الشكل (6) تأثير pH على امدصاص الكبريتات من $0.005\ NK_2SO_4$ بواسطة تربة شبعت بإيونات موجبة مختلفة

وهذا يعني القدرة العالية 1 :1 بالمقارنة مع معادن 1 :2 . وقد أشار (Harward & Reisenauer, 1966) الى إن قدرة امدصاص الكاؤولينات للكبريتات أعلى من إمتصاص معدن المونتمورلينات Montmorillonites .

إن امدصاص الكبريتات يؤثر بشكل معنوي على جاهزية الكبريتات للنبات وحركته في التربة مما يؤدي الى قلة الكمية المفقودة مع ماء الري فقد اشار (Harward & Reisenauer, 1966) الى زيادة الكمية المغسولة مع زيادة خشونة قوام التربة . في حين أوضح (Bardsley & Kilmer, 1963) إن كمية الكبريتات المغسولة مع ماء الري الزائد تزداد عند معاملة الترب الحامضية باللايم lime أو الفوسفات التي ستحتل مواقع الامدصاص تاركة الكبريتات في محلول التربة . وكما اشار (Nielsen & Biggar, 1961) الى أنَّ كمية الكبريتات المتحركة مع ماء الري الزائد تزداد تحت مختلف الظروف مع زيادة كمية الماء المضافة للتربة .

ثانياً : ترسيب الكبريتات

يترسب الكبريت في المناطق الجافة وشبه الجافة بهيئة املاح للايونات الموجبة السائدة مثل الامونيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم . وقد يتراوح معدل الترسيب بحدود 1- 127 كغم لكل هكتار . وتمتاز املاح الكبريتات بقلة ذوبانها مثل الجبس gypsum . وقد يوجد الكبريت بهيئة مركبات حاوية على صورة الكبريتيد Sulfide وقد تسود هذه الحالة في الترب الرديئة التهوية والطينية الثـقيلة ولكن وجودها في الترب الجيدة البزل والتهوية قليل جداً (Freney, 1 61) . ويعتبر الجبس رغم قلة أذابتها بالترب بإنها مصدر جيد لتجهيز النبات بالكبريتات .

فقد الكبريت من التربة

يتعرض الكبريت الموجود بالتربة الى فقد ، إما من خلال فقده على هيئة غاز الى الهواء الجوي أو بالغسل مع ماء الري الزائد . وسنحاول التعرف بإختصار على هذين العاملين .

يفقد الكبريت بهيئة غاز من التربة الى الهواء الجوي ، وتقدر كمية الكبريت المفقودة سنوياً من التربة بحوالي 68 مليون طن حسب رأي (Davies, 1980) . وقد يفقد الكبريت في الظروف اللاهوائية على هيئة غاز H_2S ، وقد يفقد الكبريت ايضاً على هيئة SO_2 في الظروف الهوائية .

ان كمية من الكبريت يمكن أن تغسل الى الافاق السفلى خلال الري أو بعد هطول الأمطار وهذه الحالة قد تكون سائدة في المناطق الجيدة الصرف مما يشجع نقص الكبريت في مثل هذه الترب . وتعتمد الكمية المفقودة بالغسل على كمية ماء الري والأمطار ومحتوى التربة من الكبريت وكذلك قدرة التربة الامدصاصية للكبريتات . وقد تصل كمية الكبريت المفقود الى 50 كغم لكل هكتار .

الكبريت ونمو النبات

يمتص النبات الكبريت على هيئة ايون الكبريتات من خلال جذوره . وبعد عملية الامتصاص تحصل ميكانيكية الأختزال وبمساعدة الانزيمات وبذلك يتحول الكبريت المعدني بداخل النبات الى مركبات عضوية مختلفة أهمها الاحماض الامينية والبروتينات ويمكن ايجاز خطوات اختزال الكبريتات الممتصة من قبل النبات بالآتي :

$$SO_4^{=} \rightarrow SO_3^{=} \rightarrow SO_2^{=} \rightarrow S_2O_3^{=}$$

بالاتحاد مع مركبات كاربوهيدراتية ونايتروجينية ⟵———— S^{2-}

$$CH_2 - S - S - CH_2$$

$HSCH_2CH\ (NH)\ COOH$ أو $H_2 - N - CH - COOH\ H_2NCH - COOH$

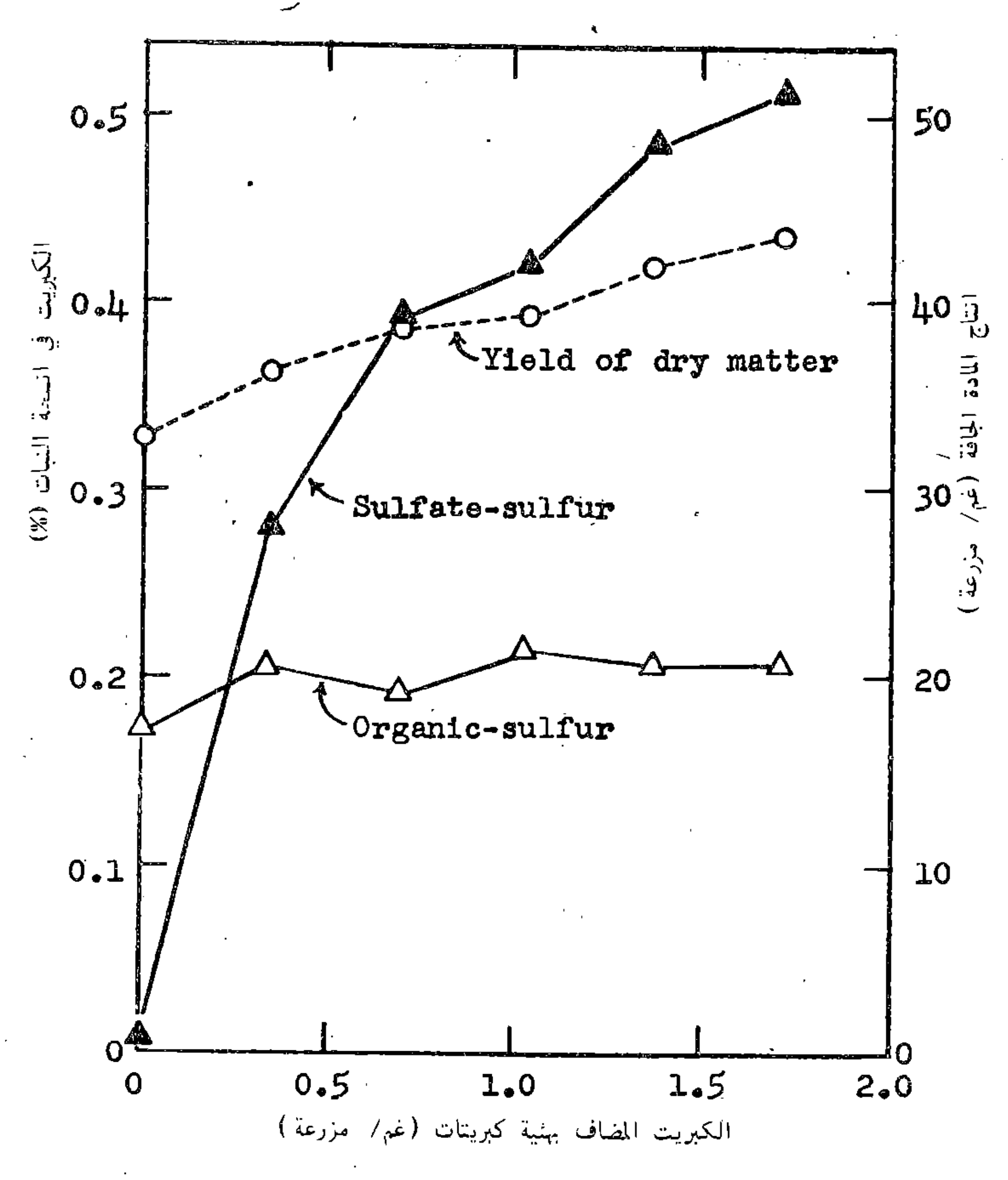
Cysteine Cystine

أو مركبات عضوية أخرى يدخل الكبريت بهيئة مجاميع (SH —) أو التركيب (— S — S —) . وبهذا يساهم الكبريت مع العناصر الغذائية الاخرى في بناء أنسجة النبات وزيادة الأنتاج (الشكل 7) .

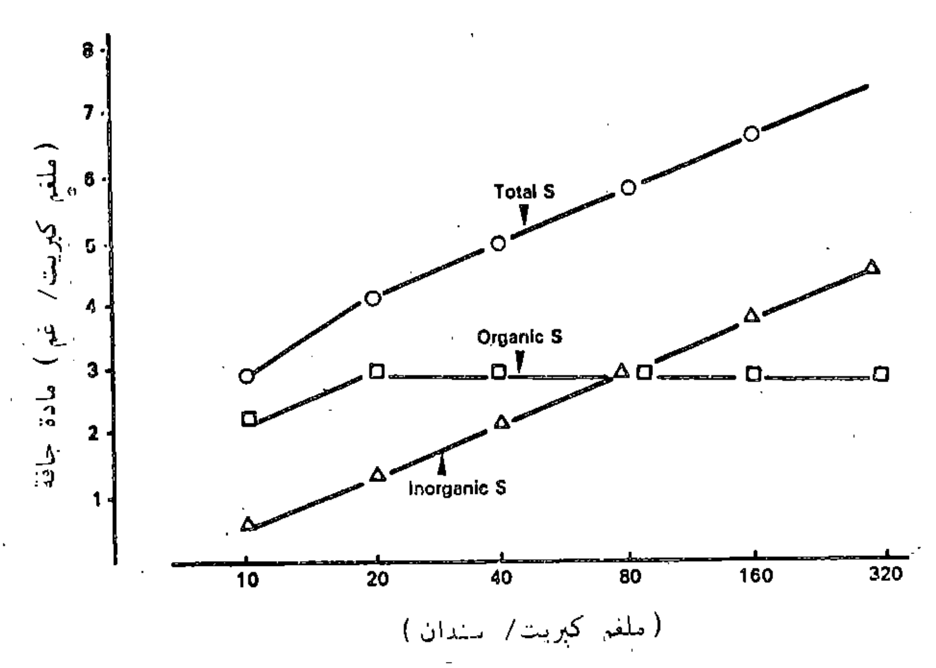
ومن خلال الشكل (7) يمكن الاستنتاج بأن للكبريتات دوراً مؤثراً في زيادة الانتاج . بالاضافة الى ذلك فإن محتوى النبات من الصور العضوية organic sulfur يزداد بمستوى محدود جداً مع زيادة الكمية المضافة من الكبريتات بالمقارنة مع زيادة محتوى أنسجة النبات من الصور المعدنية inorganic sulfate .

إن المحتوى الكلي في انسجة النبات من الكبريت يتراوح بين 0.2-0.5% كبريت بالمادة الجافة . فقد درس (Ulrich et al. 1967) العلاقة بين الكمية الممتصة من الكبريت ومحتوى انسجة البرسيم المزروع في مزرعة محلول مغذي يحتوي على كمية غير كافية من الكبريت . فقد استنتجا بان زيادة كمية الكبريتات المضافة يؤدي الى زيادة الصور العضوية الكبريتية فقط دون أي زيادة للصور المعدنية ولكن بعد حصول النبات لحدود كفايته تكون الزيادة في الصور العضوية قليلة بالمقارنة مع الزيادة العالية في محتوى النبات من الصور المعدنية . وتتفق هذه النتائج مع النتائج التي اشار اليها (Deloch, 1960) الذي يؤكد عدم تجمع الصور المعدنية في أنسجة نبات عباد الشمس الا بعد تجاوز حدود كفاية النبات من الكبريت (الشكل 8) . ولهذا يمكن النظر باهتمام الى الصور العضوية ودورها في بناء انسجة النبات .

يساهم الكبريت في عملية تكوين البروتين ولهذا فإن وفرة الكبريت الجاهز بالتربة يساعد على زيادة محتوى النبات من البروتين الحاوي على كبريت . ومن هنا فإن دراسة النسبة $\frac{N}{S}$ في النبات لها أهمية خاصة في معرفة طبيعة البروتين



شكل (7) تأثير الكمية المضافة من الكبريتات على محتوى النبات من الصور العضوية والمعدنية والانتاج للنبات المزروع في تربة رملية مزيجية والمعاملة بمستويات مختلفة من الكبريت (Saalbach and Judel, 1961) .



الشكل (8) تأثير زيادة مستوى الكبريتات المضافة على محتوى أنسجة النبات من الكبريت الكلي والكبريتات المعدنية والكبريت العضوي في انسجة اوراق عباد الشمس .

السائد في النبات . فقد أشار (Dijkshoorn & Van Wijk, 1967) الى اختلاف هذه النسبة مع اختلاف البروتين وموقعه في النبات . وقد أكدا أن بروتينات الكلوروبلاستيدات Chloroplast proteins والبروتينات المرتبطة مع الاحماض النووية nucleic acids لها قيم واطئة من هذه النسبة بالمقارنة مع البروتينات الغنية بالكبريت (الجدول 2) .

جدول (2) نسبة $\frac{N}{S}$ في تركيب البروتينات السائدة في النبات

البروتين	نسبة $\frac{N}{S}$
Gliadin (بذور)	$\frac{33}{1}$
Albumin (بذور)	$\frac{28}{1}$
Chloroplast proteins	$\frac{15}{1}$
Nucleoproteins	$\frac{18}{1}$

وتتراوح نسبة $\frac{N}{S}$ في أنسجة النبات الذي يعاني من النقص بحدود ($\frac{70}{1}$ – $\frac{80}{1}$) بالمقارنة مع النسبة الموجودة في انسجة النبات الجيد النمو ($\frac{10}{1}$ – $\frac{17}{1}$) . وقد أكد (Smith & Moore, 1970) أهمية هذه النسبة باعتبارها الدليل الدقيق للتعبير عن محتوى النبات من الكبريت والنايتروجين وبيان مدى احتياج النبات لهذه العناصر .

وقد اشار (Ergle & Eaton, 1951) الى دور الكبريت في زيادة تمثيل ايون النترات الممتص من قبل النبات وقدرة الكبريت على زيادة محتوى النبات من الكاربوهيدريت والمركبات الكاربوهيدراتية النايتروجينية (جدول 3) .

جدول (3) تأثير تركيز الكبريتات على محتوى النبات من الكاربوهيدريت والمركبات العضوية الكبريتية والنايتروجينية

الكبريتات المضافة ppm	الوزن الطري غرام	الكبريتات الذائبة (%)	محتوى النبات: الكبريت العضوية (%)	محتوى السكر	NO_3-N (%)	الصور العضوية النايتروجينية الذائبة (%)	البروتين (%)
0.1	13	0.003	0.11	0.0	1.39	2.23	0.96
1.0	50	0.003	0.12	0.0	1.37	2.21	1.28
10	237	0.009	0.17	1.5	0.06	1.19	2.56
50	350	0.10	0.26	3.1	0.00	0.51	3.25
200	345	0.36	0.25	3.4	0.10	0.45	3.20

ومما تقدم يتضح لنا دور الكبريت المساهم في بناء أنسجة النبات وزيادة الحاصيل الزراعية المختلفة . فقد بينت معظم الدراسات الدور الايجابي للكبريت في زيادة الانتاج (Janzen & Bettany, 1984) .

ويعدُّ الكبريت منشطاً لبعض الأنزيمات ويدخل في تكوين بعض الفيتامينات وكذلك الأنزيمات المساعدة . ويعمل على زيادة محتوى الزيت في الحاصيل الزيتية حسب ماأورده (Marquard et al. 1968) . كما يعدُّ عنصراً مهماً لزيادة قدرة البقوليات على تثبيت النايتروجين لمساهمته في تكوين انزيم nitrogenase الذي يساهم في هذا التفاعل . لذا فإن احتياج البقوليات الى الكبريت يكون اكثر من الحاصيل الأخرى بالمقارنة مع الحشائش والحبوب . ووفقاً لذلك فإن محتوى أجزاء النباتات المختلفة من الكبريت تتفاوت وفقاً لاحتياج هذه النباتات (الجدول 4) .

جدول (4) محتوى الكبريت في بذور محاصيل مختلفة

محاصيل الحبوب	محتوى الكبريت في المادة الجافة (%)
الشعير	0.18
الشوفان	0.18
الحنطة	0.17
الذرة الصفراء	0.17
البقوليات	
الباقلاء	0.24
الماش	0.27
فول الصويا	0.32

أعراض نقص الكبريت

تتلخص اعراض نقص الكبريت بإصفرار عام للجزء الخضري للنبات وبالأخص الاوراق وبضعف الساق وقصر في استطالة النبات وتكون اعراض نقص الكبريت غالباً مشابهة لأعراض نقص النايتروجين ويعزى سبب ذلك الى دخول الكبريت في عمليات تكوين البروتين والكلوروفيل . أي إن نقص الكبريت يساعد على تكوين نبات قليل المحتوى بالبروتين وهذا له تأثير فعال في خفض القيمة الغذائية للمحاصيل العلفية التي تعاني من النقص . وعند المقارنة بين اعراض نقص الكبريت واعراض نقص النايتروجين يمكن القول بإن اعراض نقص الكبريت تظهر على الاوراق الحديثة التكوين لانه عنصر غير متحرك داخل النبات ، أي لا يمتلك قدرة الحركة من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة . في حين تظهر اعراض نقص النايتروجين على الاوراق القديمة لانه عنصر متحرك داخل النبات .

ان اعراض نقص الكبريت سائدة في المحاصيل البقولية بالمقارنة مع محاصيل الحبوب ، كما يقل ظهور اعراض النقص في أشجار الفاكهة . وتعاني المناطق البعيدة عن المصانع وتأثير مياه البحار من نقص الكبريت وتحتاج الى المعالجة من خلال التسميد .

الكبريت المعدني

يستخدم الكبريت المعدني كمادة مصلحة للترب الكلسية والقلوية لخفض pH هذه الترب . والكبريت المعدني عبارة عن مادة بلورية الشكل صفراء اللون قليلة الذوبان بالماء يتأكسد الكبريت المعدني بعد إضافته للتربة بواسطة احياء التربة مكونة حامض الكبريتيك الذي يعمل على خفض قيمة pH التربة وفقاً للآتي :

$$S + 3/2 \; O_2 + H_2O \xrightarrow{\text{احياء التربة}} H_2SO_4$$

العوامل التي تؤثر على عملية اكسدة الكبريت

1- احياء التربة الدقيقة

تزداد عملية الأكسدة بزيادة عدد الاحياء المساهمة بهذه العملية مثل البكتريا المسؤولة عن اكسدة الكبريت التابعة الى جنس Thiobacillus .

2- درجة الحرارة

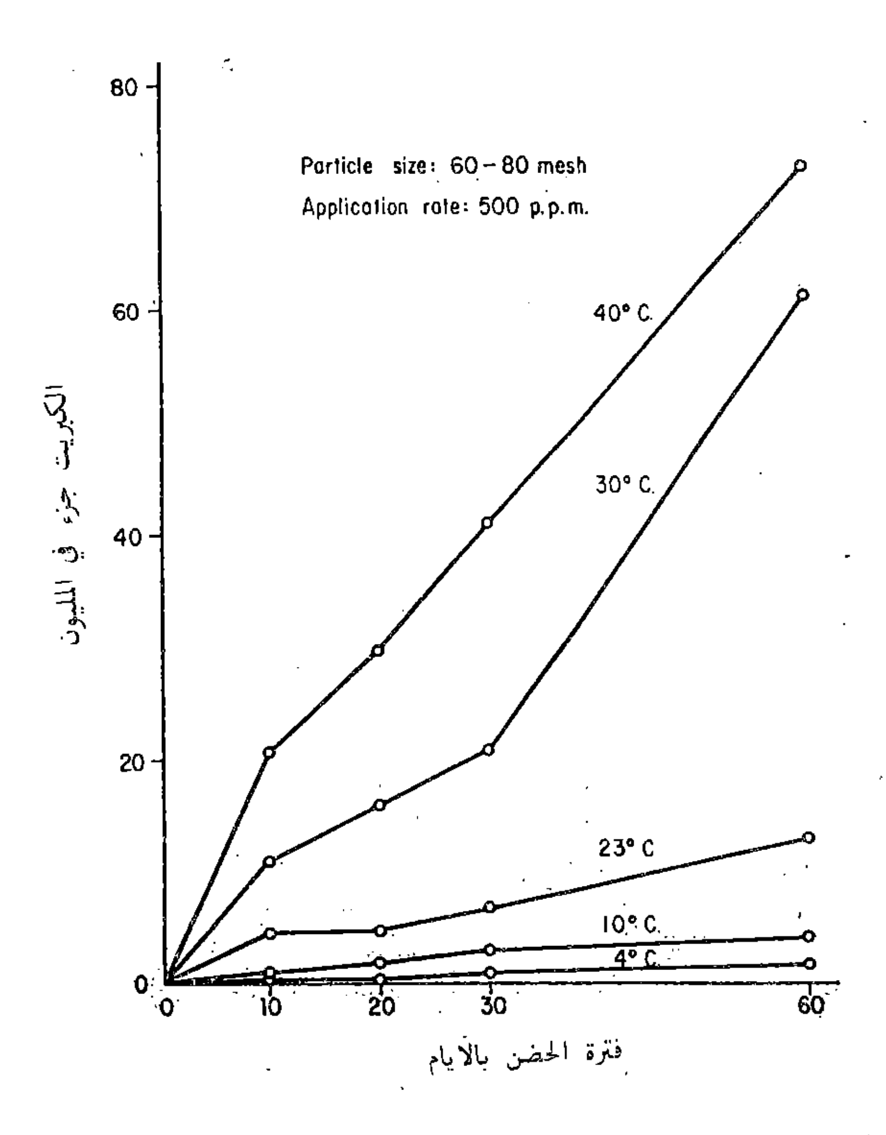
إن زيادة درجة الحرارة تساهم في زيادة عملية الاكسدة . وقد اشار (Tisdale & Nelson, 1975) الى ان زيادة درجة الحرارة حتى حدود 40°م ساهمت في زيادة عملية الاكسدة . ولكن يمكن اعتبار الحد من 27-35°م المدى المناسب لأقصى اكسدة للكبريت وان زيادة درجة الحرارة الى الحد من 55-60°م تخفض عملية الاكسدة بسبب قتل احياء التربة ويمكن ملاحظة تأثير درجة الحرارة على اكسدة الكبريت بالشكل (9) .

3- المحتوى الرطوبي للتربة

ان الرطوبة المناسبة لعملية اكسدة الكبريت المعدني هي السعة الحقلية . وقد بين (Kittams, 1963) ذلك التاثير وانعكاساته على ظروف التهوية . إن زيادة الرطوبة الى حد يفوق مستوي السعة الحقلية يساهم في خلق ظروف لا هوائية تثبط من نشاط احياء التربة المسؤولة عن عملية الاكسدة (الشكل 10) .

4- درجة حموضة التربة

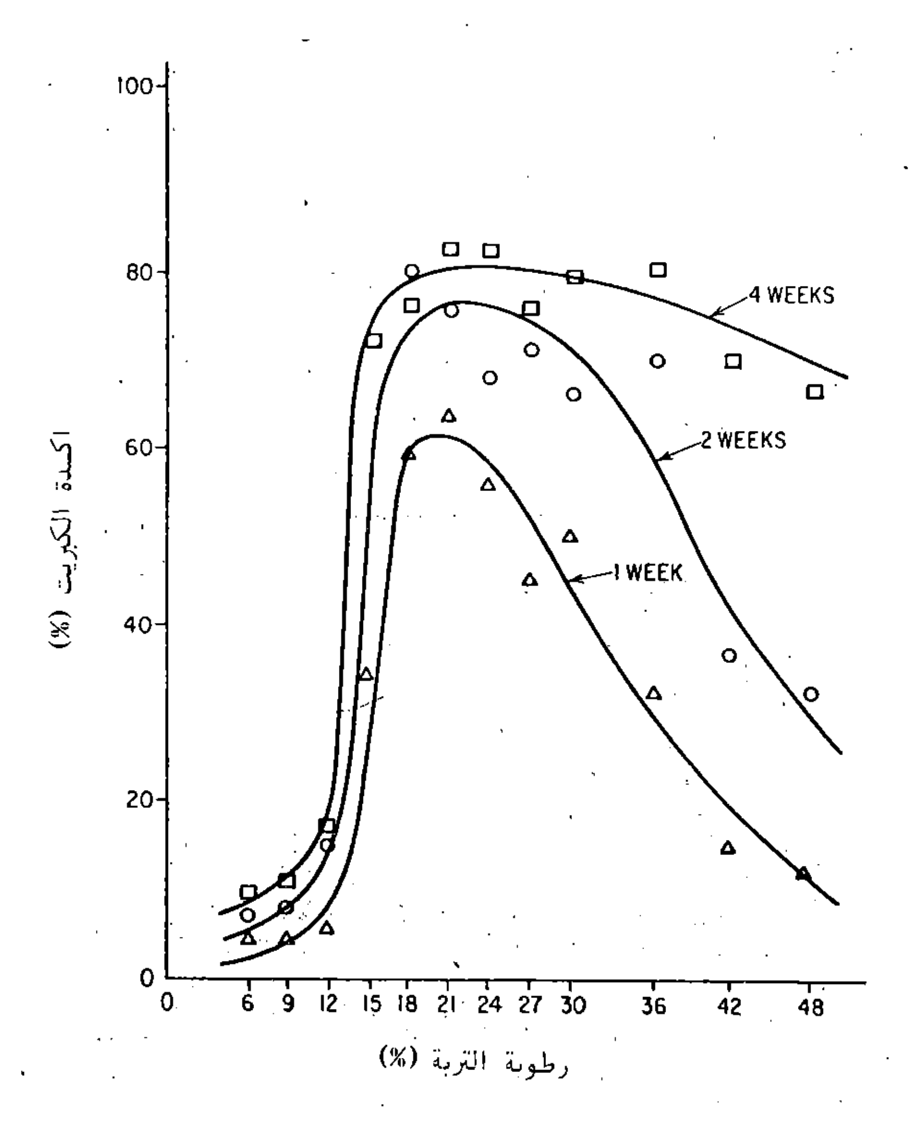
تسود الاحياء المسؤولة عن اكسدة الكبريت في الظروف الحامضية التفاعل ، ولهذا فإن معدل اكسدة الكبريت يزداد في الترب الحامضية بالمقارنة مع الترب القاعدية التفاعل .



الشكل (9) تأثير درجة الحرارة على اكسدة الكبريت

5- حجم الكبريت المضاف

إن لحجم الكبريت المضاف تأثيراً فعالاً على عملية الاكسدة ، فقد بين (Attoe, 1964) ان صغر حجم حبيبة الكبريت يعني زيادة السطح النوعي وبالتالي سرعة اكسدة الكبريت (جدول 5) .



الشكل **(10)** تأثير مستوى التربة الرطوبي على اكسدة الكبريت خلال فترات زمنية مختلفة .

جدول (5) تأثير حجم حبيبات الكبريت المضاف بمعدل **1000** جزء بالمليون الى تربة مزيجية غرينية بعد فترة حضن عند درجة حرارة الغرفة .

حجم الحبيبة مش / أنج	فترة الحضن كمية الكبريت المتأكسدة (%) 2 اسبوع	4 اسبوع
5-10	0.85	2.27
10-20	2.08	5.16
20-40	5.27	13.67
40-80	15.44	36.07
80-120	35.99	68.39
120-170	60.52	81.34

اسمدة الكبريت

تحتوي بعض الاسمدة الكيمياوية على نسبة ليست بقليلة من الكبريت مثل اسمدة كبريتات البوتاسيوم وكبريتات الامونيوم والسوبرفوسفات وغيرها كما مبين في الجدول (6) .

جدول (6) محتوى الاسمدة الشائعة من الكبريت والعناصر الغذائية الاخرى . **(Bixby et al. 1964)**

اسم السماد	N	P_2O_5	K_2O	S
	المحتوى (%)			
كبريتات الامونيوم	21	0	0	24.2
كبريتات البوتاسيوم	0	0	50	17.6
السوبرفوسفات العادي	0	20	0	13.9
كبريتات الزنك	0	0	0	17.8
اليوريا ـ كبريت	40	0	0	10
كبريتات الامونيوم والنترات	26	0	0	12.1

وقد يستخدم الجبس كمصدر سمادي مجهز للكبريت ، اذ اشار (McLachlan & De Marco, 1968) الى كفاءة الجبس في تزويد النبات بالكبريت وبالاخص عند اضافته بهيئة حبيبات صغيرة الحجم . وبشكل عام فإن الكمية المضافة من الكبريت تقع بحدود 10-50 كغم كبريت لكل هكتار . وقد يفضل اضافتها الى المناطق التي تعاني من نقص الكبريت وبالاخص المناطق ذات الامطار العالية بسبب غسل الكبريت وفقده وكذلك المناطق البعيدة التأثير عن مياه البحار وفي المناطق غير الصناعية .

2- الكالسيوم Calcium

يعد عنصر الكالسيوم من العناصر الغذائية الهامة لتغذية النبات لمساهمته في العديد من العمليات الفسيولوجية وهو يوجد في التربة بعدة صور يمكن من خلال دراسة السلوك الكيمياوي له سنتعرف على دوره المساهم في تغذية النبات وانعكاس ذلك على الانتاج . كما سنتطرق الى دراسة بعض العوامل المؤثرة على جاهزية الكالسيوم للنبات .

الكالسيوم في التربة

يشكل عنصر الكالسيوم حوالي 3.64% من تركيب القشرة الارضية ولهذا فانه يتفوق بانتشار في التربة عن بقية العناصر المعدنية المكونة للقشرة الارضية اذا استثنينا الاوكسجين والسيليكون والالمنيوم والحديد . ويعتبر عنصر الكالسيوم في الترتيب الخامس من حيث مساهمته في تركيب القشرة الارضية . يدخل الكالسيوم في تركيب العديد من المعادن الاولية مثل الفلسبارات feldspars ومركبات الفوسفات مثل الابتايت وصور كاربونات الكالسيوم المختلفة مثل الكلسايت ($CaCO_3$) والدولومايت ($CaCO_3 . MgCO_3$) . وتعتبر الترب الكلسية غنية بمحتواها من الكالسيوم وقد يصل محتواها الى مابين 10-20% . وكذلك فإن محتوى اراضي المناطق الجافة وشبه الجافة من الكالسيوم عالٍ جداً . في حين تمتاز اراضي المناطق الرطبة وكذلك الاراضي القديمة Old Soil التي تعرضت لتجوية عالية بانخفاض محتواها من الكالسيوم الكلي .

لقد اشار (Barber et al., 1962) الى أن محتوى اراضي المناطق الرطبة يتراوح بين 8 الى 45 جزء في المليون . في حين اوضح (Woodruff, 1955) أن اراضي المناطق الاستوائية الرطبة تكون فقيرة جداً في الكالسيوم (0.1-0.2%) رغم أن مادة الأصل قد تكون كلسية . وقد عزا سبب ذلك الى تعرض الكالسيوم

المتحرر من المعادن الاولية الى غسل سريع يفقده مواقعه على سطح غرويات التربة ليأتي الهايدروجين ويتمركز فيها مما يكسب التربة حموضة عالية .

أما في الترب الكلسية أو التي نشأت من مادة الأصل حجر الكلس limestone وكذلك الترب الملحية وجميع اراضي المناطق الجافة وشبه الجافة فإن كمية الكالسيوم الكلية عالية جداً وذلك بسبب وفرة المركبات المعدنية المترسبة الحاوية على الكالسيوم مثل الكالسايت والدولومايت والجبس والابتايت وغيرها ومعادن اولية وثانوية تحوي على الكالسيوم كما ان معدل انطلاق الكالسيوم من هذه المكونات المختلفة قليل جداً بسبب ارتفاع pH هذه الترب .

صور الكالسيوم في التربة

يوجد الكالسيوم في صور عديدة تحدد سلوكه الكيمياوي وتؤثر على جاهزيته للنبات وانتشاره في آفاق التربة وهي :

1- الكالسيوم في الجزء المعدني (غير المتبادل)

لقد اوضحنا أن عنصر الكالسيوم يدخل في تركيب عدد من المعادن الاولية وكذلك بعض المعادن الثانوية مثل المايكا والبيروكسين والمونتموريلونايت والأليايت . كما يوجد بهيئة مركبات معدنية مترسبة مثل الكالسايت والدولومات والجبس والابتايت وغيرها .

إن ذوبان المركبات المعدنية المختلفة وتحرر الكالسيوم له أهمية كبيرة من الناحية الزراعية والبيدلوجية لارتباطه بحموضة التربة وقلويتها . فالكالسايت مثلاً ، مركب قليل الذوبان (10-15 ملغرام كالسيوم/ لتر) ولكن عند وجود ثاني اوكسيد الكاربون وذوبانه بالماء وتكوين حامض الكاربونيك وتفاعله مع كاربونات الكالسيوم (الكالسايت) يكون المركب بيكاربونات الكالسيوم السهلة الذوبان :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

وبهذا يتحرر أيون الكالسيوم بعد تحلل المركب $Ca(HCO_3)_2$. إن فرصة تكوين حامض الكاربونيك بالتربة عالية جداً بسبب وجود عدة عمليات حيوية في التربة مثل تنفس احياء التربة وجذور النباتات التي تساهم في انتاج غاز ثاني اوكسيد الكاربون وإنّ اضافة الماء للتربة عن طريق الامطار أو الري الاعتيادي يساعد على اكمال متطلبات التفاعل . كما أن تحلل المكونات العضوية قد يساعد على انتاج المزيد من غاز ثاني اوكسيد الكاربون في التربة .

إن جميع العمليات التي تجرى في التربة وتزويدها بأيونات الهايدروجين تساعد ايضاً على تحلل مركبات الكالسيوم المختلفة مما يعمل على تحرره . فعملية النترجة مثلاً أو أكسدة الكبريت المعدني أو اضافة الأسمدة الحامضية التفاعل قد تساعد الى حد ما على ذوبان مركبات الكالسيوم المختلفة كما لاحظ بعض الباحثين أن زيادة تركيز الاملاح يزيد من ذوبان كاربونات الكالسيوم .

2- الكالسيوم المتبادل

تدمص أيونات الكالسيوم على سطح غرويات التربة وقد تشكل الكمية المدمصة حوالي (50-90%) من كمية الايونات الموجبة الاخرى المدمصة . ولنوع المعدن السائد في التربة تأثير محدد على الكمية المتبادلة من الكالسيوم فقد أشار (Broyer & Stout, 1959) الى أن كمية الكالسيوم المتبادلة تكون قليلة ولا تتجاوز 20% عندما يكون المعدن السائد الكاؤولينيات في حين تصل الكمية الى 80% عندما تكون معادن 2:1 هي السائدة . ويرتبط الكالسيوم المدمص بمواقع التبادل بقوة اليكتروستاتيكية تمنعه من الانتشار خارج نطاق التوازن الأيوني مع الذائب في محلول التربة . وللكالسيوم المتبادل أهمية خاصة في تحسين خواص التربة الفيزياوية من خلال تحسين تركيب التربة **Soil structure** وتكوين حبيبات مركبة ثابتة . ولا يمكن النظر الى جميع الكالسيوم المتبادل بأنه يمثل الصورة الجاهزة للنبات بل إن قوة ارتباطه مع السطح تحدد ذلك .

3- الكالسيوم الذائب

تحتوي معظم الترب المعدنية على مستوى عالٍ من الكالسيوم الذائب في محلول التربة بهيئة أيونية تكفي لسد الاحتياجات المطلوبة من قبل النبات . وقد تعاني الترب العضوية الحامضية من قلة محتوى الكالسيوم الذائب وكذلك الجاهز للنبات بشكل عام مما يستلزم معالجة الامر باضافة الاسمدة الخاصة .

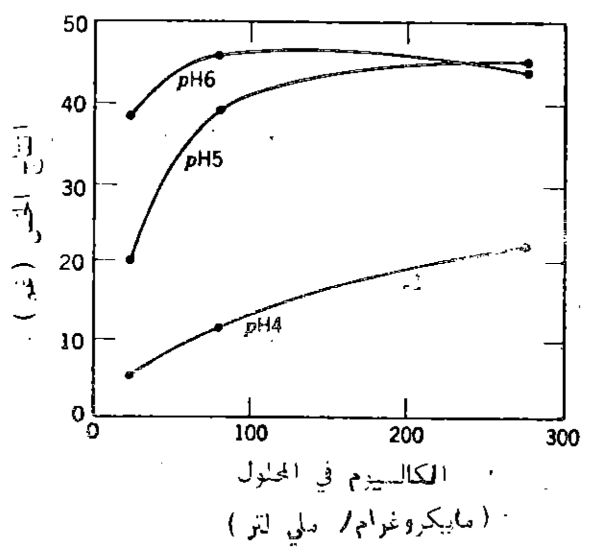
العوامل التي تؤثر على جاهزية الكالسيوم

لابد من مناقشة بعض العوامل التي تؤثر على جاهزية الكالسيوم للنبات وهي : -

1- درجة حموضة التربة (Soil-pH)

تنخفض جاهزية الكالسيوم بأرتفاع pH التربة اي ان الكالسيوم يترسب بهيئة مركبات معدنية قليلة الذوبان في الظروف القلوية وعلى الرغم من ذلك فان معظم هذه الترب تحتوي على كمية كافية من الكالسيوم الصالح لتغذية النبات .

اما الترب الحامضية الفقيرة بمحتواها من الكالسيوم الجاهز فان اضافة معادن الكلس مثل $CaCO_3$ ، CaO أو $Ca(OH)_2$ تعمل على تجهيز هذه الترب بالكالسيوم وتعمل على رفع pH هذه الترب وبذلك تحسن خواص التربة الفيزياوية والكيمياوية . لذا فقد تعتبر هذه المعادن من المصطلحات الشائع استعمالها في الترب الحامضية . ومن خلال نتائج الدراسة التي قام بها (Arnon & Johnson, 1942) على محصول الخس النامي في محلول مغذي (الشكل 1) ، نجد ان احتياج النبات من الكالسيوم لكي يعطي أقصى انتاج يقل مع ارتفاع قيمة الـ pH من 4 الى 5 أو 6 . مما يدلل على ان للكالسيوم دوراً هاماً في الحد من تأثير الحموضة . لذا فان الحموضة العالية تستهلك كمية اكبر دون ترك كمية كافية لسد احتياجات النبات .



الشكل (1) انتاج الخس النامي في محلول مغذي يحتوي على مستويات من تراكيز الكالسيوم عند ظروف pH مختلف .

ان الحموضة العالية تساعد على ذوبان مركبات الكالسيوم المعدنية المختلفة في حين تعمل القلوية العالية على ترسيب هذه المركبات . وبسبب اختلاف ذوبان مركبات الكالسيوم فان لقيمة pH التربة دوراً هاماً في تحديد المركب المناسب لغرض استعماله كمحسن لظروف الحموضة بالتربة . فنظراً لارتفاع اذابة المركب CaO والمركب $Ca(OH)_2$ فإن استعمالها كمحسنات سريعة المعالجة أفضل من استخدام المركب $CaCO_3$ البطيء الذوبان الا في حالة الحموضة العالية جداً .

2- تاثير المادة العضوية

تدمص ايونات الكالسيوم بواسطة الغرويات العضوية وبالاخص حوامض الدباليك مكوناً معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة . وللمادة العضوية دور مساعد

في تحلل مركبات الكالسيوم المعدنية من خلال انتاج غاز ثاني اوكسيد الكاربون والحوامض العضوية المختلفة التي قد تساهم لحد ما في خفض pH التربة او اذابة المركبات بصورة مباشرة .

فقد اشار (Schach tschabel, 1940) الى ان قدرة حامض الدباليك على جذب الكالسيوم اكبر من قدرة معادن الطين المختلفة (جدول 1) . وتمتاز الكمية المنجذبة ببطىء تحررها لتكون جاهزة للنبات .

جدول (1) قدرة حامض الدباليك ومعادن الطين المختلفة على جذب الكالسيوم بعد غسل الجميع بمحلول 0.05N CaOAc .

	النسبة المئوية لمواقع الانجذاب لايون الكالسيوم
حامض الدباليك	93
معدن المونتموريلونايت	63
معدن الكاؤولينات	54
معدن المسكوفايت	6

3- تأثير كمية ونوعية معادن الطين

من خلال الجدول السابق يتضح لنا جانب من تأثير نوعية معادن الطين على كمية الكالسيوم المتبادل . ومن خلاله يمكن القول ان معادن المونتوريلونات تحتاج الى كمية اكبر من الكالسيوم لتشبع مواقع التبادل يالمقارنة مع معادن 1 :1 . وقد بين (Tisdale & Nelson, 1975) ان قدرة معدن المونتموريلونات على اطلاق كمية من الكالسيوم لسد احتياجات النبات يستلزم تشبيع هذا المعدن بالكالسيوم لحد 70% او اكثر في حين يكفي تشبيع معدن الكاؤولينات لحد (40-50%) ليجهز النبات بالكمية المطلوبة .

4- تاثير نوع الكايتون المرافق

ان لنوع الكايتون المرافق بجانب الكالسيوم المتبادل له دور كبير في تحديد جاهزية الكالسيوم للنبات . فقد لاحظ (Jarusov, 1937) وكذلك (Ratner, 1950) ان ايونات الهايدروجين تؤثر على جاهزية الكالسيوم بدرجة اقل من المغنيسيوم وكذلك الصوديوم (جدود 2) . ويمكن القول بان وجود 40% من

الصوديوم المتبادل منعت نهائياً تقريباً ايونات الكالسيوم من الامتصاص من قبل النبات بالرغم ان كميته كانت تشكل 60% من السعة التبادلية الكايتونية للتربة. اما وجود 40% من ايونات الهايدروجين بشكل متبادل فقد شجعت انطلاق الكالسيوم ليمتص من قبل بادرات الحنطة. ومن هذا يظهر انه يمكن ان نتوقع نقص الكالسيوم في الترب الصودوية بدرجة كبيرة بالمقارنة مع الترب الحامضية.

جدول (2) انتاج ومحتوى بادرات الحنطة من الكالسيوم بعد نموها في تربة مشبعة بمستوى ثابت من الكالسيوم وايونات مرافقة مختلفة **(Ratner, 1950)**.

الايونات المتبادلة	وزن البادرات المجففة هوائياً غرام / سندان	الكمية الممتصة من Ca بواسطة البادرات (ملغم / سندان)
100% كالسيوم	1.8	9.7
60% كالسيوم + 40% هايدروجين	1.7	8.6
60% كالسيوم + 40% مغنيسيوم	1.7	8.1
60% كالسيوم + 40% صوديوم	1.6	5.2
المعاملة القياسية (رمل فقط)	1.7	5.2

الكالسيوم ونمو النبات

يمتص النبات عنصر الكالسيوم بهيئة أيونية (Ca^{2+}). ويكون محتوى مختلف الترب من الكالسيوم اعلى من محتوى البوتاسيوم غالباً الا ان الاحتياج العام لمختلف النباتات من الكالسيوم اقل. ويعتبر عنصر الكالسيوم ضرورياً في تكوين الازهار والخلايا المريستمية ويؤثر على حركة انتقال الكاربوهيدرايت في النبات وهو يشجع نمو المجموع الجذري في النبات. وقد اشار (Burstrom, 1968) الى اهمية الكالسيوم في استطالة الخلية والانقسام الخلوي كما يعتبر عنصراً اساسياً في تكوين الجدار الخلوي ونفاذيته وقد يتجمع الكالسيوم في الحد بين السايتوبلازم والجدار الخلوي. وقد اضاف كل من (Rensing & Cornelius, 1980) الى ان للكالسيوم دوراً منشطاً لبعض الانزيمات التي لها دور مساهم في مختلف العمليات الحيوية في النبات.

يوجد الكالسيوم في انسجة النبات كايون حر (Ca^{2+}) وكمعقد عضوي. يرتبط مع مكونات عضوية من خلال الجاميع الكاربوكسيلية والفينولية وكذلك يوجد بهئية أوكسالات الكالسيوم أو كاربونات او فوسفات الكالسيوم وغالباً ماتوجد هذه المكونات في الفجوة الخلوية . وقد يوجد الكالسيوم في البذور مرتبطاً مع حامض الفايتك Phytic acid وفي الجدار الخلوي يرتبط الكالسيوم مع البكتين من خلال الجاميع الكاربوكسيلة وبهذا يتجمع الكالسيوم في الجدار الخلوي .

تحتاج معظم النباتات الى كمية بسيطة من الكالسيوم قد تصل الى حد (5-30) ملغرام كالسيوم لكل غرام مادة جافة . وان وجود كمية كافية من الكالسيوم الجاهز للنبات يساعد في زيادة الانتاج لمختلف المحاصيل الزراعية . فنتائج (Loneragan et al. 1968) تبين تأثير تركيز الكالسيوم في المحلول المغذي على نمو بعض المحاصيل الزراعية ومحتوى انسجتها من الكالسيوم فقد لاحظوا ان اقصى معدل نمو الحشائش يحتاج الى كمية اقل من الكالسيوم بالمقارنة مع احتياج محصول الطماطا (جدول 3) . وكذلك فان محتوى انسجة ا لحشائش من الكالسيوم قد تصل الى (0.7%) عند اقصى انتاج في حين محتوى انسجة محصول الطماطا يصل الى (1.29%) عند اقصى انتاج . ومن هذا يمكن القول ان احتياج الطماطا للكالسيوم اعلى من احتياج الحشائش .

جدول (3) تأثير تركيز الكالسيوم في المحلول المغذي على معدل نمو بعض المحاصيل وكذلك محتوى انسجتها من الكالسيوم .

تركيز الكالسيوم مايكرومول / لتر	معدل النمو النسبي		محتوى المادة الجافة من الكالسيوم (%)	
	الحشائش	الطماطا	الحشائش	الطماطا
0.8	42	3	0.6	2.1
2.5	100	19	0.7	1.3
10	94	52	1.5	3.0
100	94	100	3.7	12.9
1000	93	80	10.8	24.0

وقد بين (Geraldson, 1970) ان وجود مستوى 15% كالسيوم متبادل بالتربة يكفي لنمو وانتاج جيد لحصول الطماطا . وفي دراسات مختلفة حول الكالسيوم لبيان الحد الحرج في مختلف المحاصيل الزراعية فقد وجد (Melsted, 1953) ان المحتوى 0.2% في انسجة الذرة الصفراء تمثل الحد الحرج في حين وجد (Geraldson, 1957) ان الحد الحرج لحصول الطماطا يقع في المحتوى 0.5% .

اعراض نقص الكالسيوم واسلوب معالجته

يعتبر عنصر الكالسيوم غير متحرك لذا فإن اعراض نقصه تظهر على الاوراق الحديثة التكوين وهي عبارة عن اصفرار أو تلون الأوراق باللون البني المبقع مع التفاف الاوراق وأنخفاض سمكها . ومن أعراض نقص الكالسيوم على اشجار الفاكهة تأخير أو توقف نمو الجذور والبراعم أما اعراضه في الحمضيات فهي اصفرار الاوراق وتساقطها قبل موعدها وتشويه شكل الأغصان .

من النادر جدا أن يظهر نقص الكالسيوم في الترب العراقية لوجود المحتوى العالي من كاربونات الكالسيوم وكذلك في الاراضي الملحية واراضي المناطق الجافة وشبه الجافة . أما في أراضي المناطق الاستوائية الرطبة فيسود نقص الكالسيوم لذا فهو يعالج بإضافة مركبات الكالسيوم المختلفة (جدول 4) . وان نقص الكالسيوم قد يكون شائعاً في الاراضي الحامضية كما سبق الاشارة الى ذلك .

جدول (4) مركبات الكلس المعدنية

الصيغة	محتوى CaO %
حجر الكلس $CaCO_3$	50
اللايم $Ca(OH)_2$	70
اللايم CaO	85

وقد سبق أنْ اوضحنا تفضيل المركب $Ca(OH)_2$ والمركب CaO على المركب $CaCO_3$ بسبب الاذابة العالية للمركبين وتجهيزهم السريع للكالسيوم وتحسين حموضة التربة مما ينعكس ذلك على مستوى خصوبة التربة . ونظراً لإختلاف معدل اذابة هذه المركبات فإن الكمية المضافة من المركبات العالية الذوبان أقل من معدل مايضاف من المركبات البطيئة الذوبان . فقد أوضح (Mengel &

(Kirkby, 1982) إن مستوى الأضافة يكون غالباً بحدود من (3-4) طن من المركب CaO أو (4-6) طن من المركب $CaCO_3$ لكل هكتار لدورة تستمر من (3-5) سنوات . ولابد من القول إن معدل اذابة هذه المركبات يحددها pH الوسط كما إنَّ الكمية المطلوب إضافتها تتحدد أيضاً وفقاً للحموضة الفعلية السائدة . إن لإضافة مركبات الكلس المعدنية فائدة كبيرة في تحسين المستوى الخصوبي للترب الحامضية عند إضافة الكمية المناسبة التي لاتؤدي الى رفع pH التربة الى حد اعلى من (7) . ويمكن الرجوع الى ماورد في الفصل الاول عن العلاقة بين pH التربة والمستوى الخصوبي من خلال جاهزية العناصر الغذائية المختلفة . إذن لابد من تحديد الكمية المناسبة التي تساهم في تعديل pH التربة وكذلك تجهيز التربة بكمية مناسبة من الكالسيوم الجاهز .

3- المغنيسيوم Magnesium

يعتبر المغنيسيوم من العناصر الغذائية الكبرى والضرورية لنمو النبات . فيعتبر عنصر المغنيسيوم احد مكونات كلوروفيل النبات ، لذا فإن جميع النباتات تحتاج الى هذا العنصر لاهميته لنموها . وغالباً ماتحتاج الحاصيل الى كميات أقل من المغنيسيوم بالمقارنة مع احتياجها من الكالسيوم والبوتاسيوم .

المغنيسيوم في التربة

ان محتوى قشرة الارض من المغنيسيوم يقد بحوالي 1.93% حسب ماأورده (Tisdale & Nelson, 1966) . وتحتوي الترب الطينية على نسبة عالية من هذا العنصر وذلك لوجوده في تركيب المعادن الاولية مثل البايوتايت Biotite و السيربنتين Serpentine و الألفين Olivine وكذلك يوجد في المعادن الثانوية مثل الكلورايت Chlorite والفيرمايكولايت Vermiculite و الأليلايت Illite والمونتموريلونايت Montmorillonite ومعادن أخرى (Walsh & Beaton, 1973) . ويختلف محتوى هذه المعادن من المغنسيوم (جدول 1) . وغالباً مايكون محتوى معادن التربة الثانوية عالياً جداً وبالاخص الفيرمايكولايت والكلورايت . يوجد المغنيسيوم بهيئة مغنسايت magnesite ($MgCO_3$) ودولومايت ($MgCO_3$, dolomite $CaCO_3$) . وفي اراضي المناطق الجافة وشبه الجافة يوجد المغنيسيوم كبريتات المغنيسيوم .

جدول (1) محتوى بعض معادن الطين من المغنيسيوم (Salmon, 1963)

اسم المعدن	المحتوى (%) MgO
الأليلايت	1
الفيرمايكولايت	15-12
الكلورايت	23

إن محتوى الترب من المغنيسيوم يعتمد بالأساس على نوعية التربة ، فقد بين (Menyel & Kirkby, 1982) بان محتوى معظم الترب في المغنيسيوم يتراوح بين 0.05% للترب الرملية و 0.5% للترب الطينية . ولوضوح (Tisdale & Nelson, 1975) بإن محتوى ترب المناطق الرطبة الخشنة النسجة من المغنيسيوم قليل ومحتواها من المغنيسيوم الكلي 1% بينما محتوى الترب ذات النسجة الناعمة في هذه المناطق اكثر من 1% وبشكل عام يمكن القول بإن ترب المناطق الجافة ذات النسجة الناعمة تكون ذات محتوىً عالٍ من المغنيسيوم وفي بعض ترب المناطق شبه الجافة ايضاً يوجد بكميات كبيرة من المغنيسيوم مما يشكل سميّة للنبات . وتلعب طبيعة مادة الأصل وعمليات التجوية دوراً هاماً في تحديد مكونات التربة من هذا العنصر . فقد وجد (Lombin & Fayemi, 1976) بإن الترب المشتقة من الصخور الرسوبية (Sedimentary Limestone) تكون فقيرة في محتواها من المغنيسيوم الكلي ولاحظنا ايضاً بأن المغنيسيوم الذائب والمتبادل في الترب يزداد بزيادة نسبة الطين أو (الطين + الغرين) . أما (Alston, 1972) فقد أشار الى أنَّ محتوى الترب البركانية من المغنيسيوم اعلى من ترب Gley و Brown earth و Peaty Gley .

صور المغنيسيوم بالتربة

يوجد المغنيسيوم بشكل ذائب ومتبادل وغير متبادل والجزء الاكبر منه يوجد بشكل غير متبادل في المعادن الاولية ومعادن الطين الثانوية ، ويوجد في معادن الطين الثانوية بدرجة تفوق ماهو موجود في المعادن الاولية وتكون هذه الصورة غير جاهزة للامتصاص من قبل النبات مباشرة كما اشار الى ذلك (Hannawy et al. 1960). المغنيسيوم المتبادل اعتيادياً يشكل مايقارب 5% من المغنيسيوم الكلي الموجود في التربة ويكون كلٌّ من المغنيسيوم المتبادل والذائب اكثر جاهزية للنبات (Mengle & Krikby, 1982) . ويتحرر المغنيسيوم غير المتبادل الى

الصور الأخرى بواسطة عملية التجويه واشار (Hossner, 1965) الى أن معدل التحرر للصور غير المتبادلة في الظروف الاعتيادية سريع .

فقد بين (Bolton, 1972) إن المغنيسيوم المتبادل في التربة يزداد عند اضافة المادة العضوية الى التربة وإن هذه الصورة جاهزة للامتصاص من قبل النبات . ولاحظ (Uzomokwunye & Melsted, 1973) بأن قابلية الترب المحتوية على كميات عالية من الماء العضوية المتحللة جزئياً وغير المتحللة ، على تثبيت المغنيسيوم أقل من قابلية الترب الفقيرة بالمادة العضوية . ولهذا يمكن القول بأن للمادة العضوية دوراً كبيراً في تحديد محتوى الترب من المغنيسيوم ومدى جاهزيته للنبات . فزيادة تجمع المادة العضوية على سطح التربة يزيد من حفظ التربة للمغنيسيوم في الطبقة السطحية مما يزيد من كمية المغنيسيوم الجاهز للنبات ويكون محتواها من المغنيسيوم الكلي عالياً (Lombin & Fayemi, 1976) .

يلعب pH التربة دوراً كبيراً في مقدار ماتحتويه الترب من المغنيسيوم ومدى جاهزيته للنبات . وقد اشار (Embleton, 1975) الى أن الترب الحامضية والرملية في المناطق التي تكون فيها كمية الامطار متوسطة الى عالية تعاني من نقص المغنيسيوم وفي مثل هذه المناطق يكون نقص المغنيسيوم أقل من السنوات التي تكون فيها كمية الأمطار قليلة . ولاحظ (Lombin & Fayemi, 1976) أنه عند الـ pH المنخفض للتربة تحل ايونات الهايدروجين وايونات الالمنيوم محل ايونات المغنيسيوم الموجودة على غرويات التربة ولهذا يصبح المغنيسيوم اكثر جاهزية للنبات عما هو عند الـ pH العالي وهذا السبب يدعم النتيجة التي توصل اليها (Chan et al. 1979) إذ وجدوا انه بزيادة pH التربة تزداد كمية المغنيسيوم المثبتة وقد أدت زيادة pH التربة من 4.0 الى 9.0 الى زيادة المغنيسيوم المتبادل بمقدار 62% . ولهذا فإن الترب الحامضية تعتبر فقيرة بمحتواها الجاهز والكلي من المغنيسيوم وذلك لسرعة فقده وحركته بالمقارنة مع الترب القاعدية التفاعل .

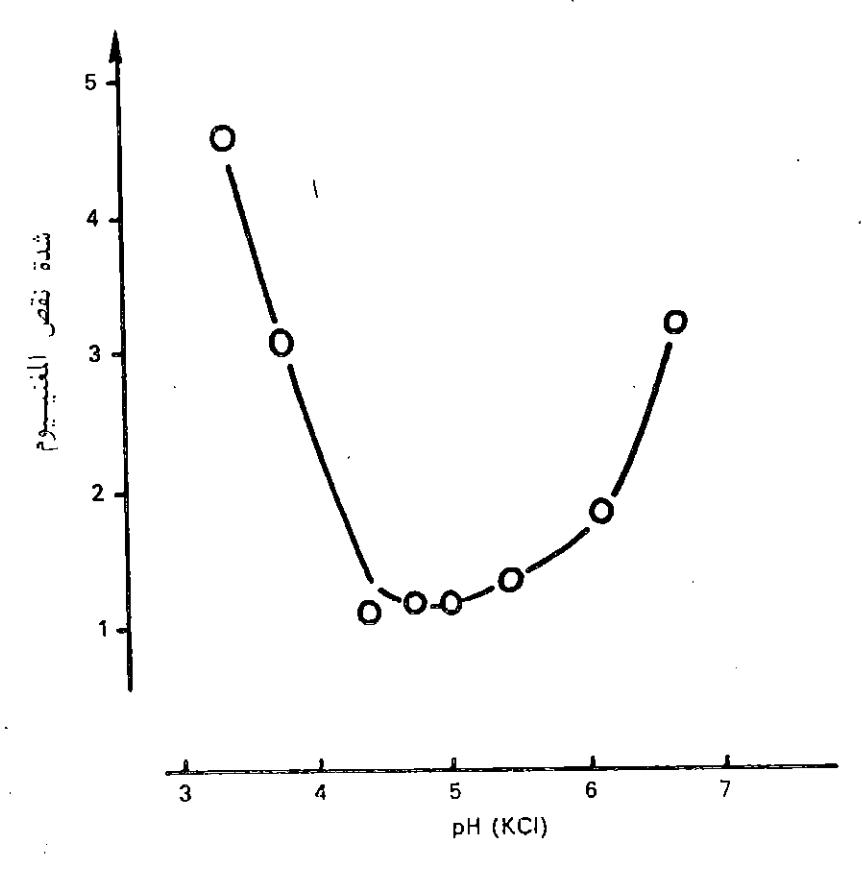
العوامل المؤثرة على جاهزية المغنيسيوم

لقد سبق أن أوضحنا تأثير pH التربة على محتوى الترب من المغنيسيوم . أما العلاقة بين pH التربة وجاهزية المغنيسيوم فقد يرى عدد من الباحثين (Doll & Hossner, 1964; Jones & Haghari, 1963) بأنها عكسية ، أي أن زيادة pH التربة يؤدي الى خفض جاهزية المغنيسيوم لزيادة معدل التثبيت . ولكن هذا الامر يرتبط بمحتوى الترب من المغنيسيوم اذ نجد أن محتوى الترب القاعدية من المغنيسيوم الجاهز والكلي عالٍ غالباً بالمقارنة مع الترب الحامضية التفاعل التي يسود

فيها اعراض نقص المغنيسيوم عند عدم معاملتها بالأسمدة . فقد لاحظ (Martin & Page, 1969) اعراض نقص المغنيسيوم على اوراق الحمضيات النامية في الترب الحامضية .

إن العلاقة بين pH التربة وجاهزية المغنيسيوم علاقة متداخلة ومتغيرة تحكمها خصائص التربة وتركيبها المعدني بالاضافة لمحتوى التربة الكلي من العنصر . الشكل (1) الذي أخذ من (Stenuit, 1959) يوضح العلاقة بين pH التربة وشدة اعراض نقص عنصر المغنيسيوم على نبات الشوفان المزروع في تربة رملية .. ويمكن الاستنتاج بانه عند pH مساوٍ الى 5 تكون شدة اعراض نقص المغنيسيوم في ادنى حد . إن ارتفاع أو انخفاض قيم pH التربة يؤدي الى خفض جاهزية المغنيسيوم وقد يرجع سبب ذلك الى التنافس الأيوني مع الكالسيوم والهايدروجين .

ويعتبر عامل التنافس الكايتوني Cation competitive من أهم العوامل المحددة لأمتصاص المغنيسيوم من قبل النبات .



الشكل (1) تأثير pH التربة على شدة اعراض نقص المغنيسيوم .

فقد درس (Mulder, 1956) تأثير أيون الامونيوم على امتصاص وجاهزية المغنيسيوم للنبات . وعلى الرغم من أن ميكانيكية التنافس بين الاثنين غير واضحة ، الا أنه يعتقد بأن ذلك يعتمد على تحرر ايون الهايدروجين من صورة ايون الامونيوم بالاضافة الى التأثير المباشر لهذا الايون في تقليل كمية المغنيسيوم الجاهزة أو الممتصة . كما لاحظ (Mulder, 1950) أنَّ اضافة مستويات عالية من البوتاسيوم يؤدي الى ظهور اعراض نقص المغنيسيوم على اوراق التفاح . وقد اشار (Salmon, 1964) الى أن المغنيسيوم الجاهز للنبات يكون قليلاً في الترب الغنية بالبوتاسيوم ولذلك فانه اوصى بمضاعفة كمية المغنيسيوم المضافة في مثل هذه الترب لكي تسد احتياجات النباتات المطلوبة . أما (Leggett & Gilbert, 1969) فقد وجد أن كمية المغنيسيوم الممتصة بواسطة فول الصويا كانت عالية جداً عندما كان المحلول المغذي . خالياً من البوتاسيوم . واوضح (Viro, 1973) تأثير زيادة مستوى البوتاسيوم المضاف على محتوى اجزاء نبات الطماطا لبعض الايونات الموجبة (الجدول ـ 2) . ووجد بأن زيادة تجهيز البوتاسيوم يؤدي الى نقص محتوى اوراق

جدول (2) تاثير زيادة مستويات البوتاسيوم المضافة على محتوى اجزاء نبات الطماطا من الايونات الموجبة .

المعاملة ملي مول بوتاسيوم/ لتر محلول مغذي	K	Na	Ca	Mg
	نسبة مئوية بالمادة الجافة			
الاوراق				
2	0.5	0.40	4.7	0.61
10	3.3	0.19	4.2	0.27
20	4.2	0.18	3.3	0.15
الجذور				
2	0.2	0.36	3.9	0.33
10	2.2	0.25	3.2	0.31
20	2.4	0.13	3.3	0.26
الثمار				
2	1.6	0.10	0.09	0.07
10	2.5	0.07	0.08	0.08
20	2.7	0.06	0.07	0.09

نبات الطماطا وجذوره بالمغنيسيوم ولكنه يؤدي الى زيادة محتوى الثمار . أما (Linser & Herwig, 1968) فقد وجدوا أنَّ زيادة تجهيز البوتاسيوم يؤدي الى زيادة محتوى بذور الكتان من المغنيسيوم . ويبدو إن للبوتاسيوم دوراً في تشجيع حركة المغنيسيوم الى أعلى النبات ليخزن في الثار أو للبذور . ولاحظ (Hovland & Caldwell, 1960) بأن اضافة البوتاسيوم الى التربة يقلل من احلال المغنيسيوم في التربة وبالنتيجة يقل امتصاص النبات للمغنيسيوم . وأشار (Lombin & Fayemi, 1976) الى أن زيادة البوتاسيوم في التربة يزيد من منافسته للمغنيسيوم على مواقع التبادل لجذور النبات وذلك لان احلال البوتاسيوم على مواقع التبادل لجذور النبات اسهل بكثير من المغنيسيوم اذا وجدا في محلول واحد ولهذا يقلل من معدل امتصاص المغنيسيوم وهذه النتائج تتفق مع النظريات التي وضعت من قبل (Bear, 1950, Arnon, 1939) .

المغنيسيوم ونمو النبات

يساهم عنصر المغنيسيوم في بناء جزيئة الكلورفيل ، على الرغم من ان الكمية المشتركة في هذا العنصر قد لاتزيد عن 30% من الكمية الكلية الممتصة . وللمغنيسيوم دور في العديد من العمليات الحيوية كتكوين وزيادة نشاط بعض الانزيمات مثل انزيم Atpase . وقد لاحظ (Haeder & Mengel, 1969) ان نقص المغنيسيوم يؤدي الى خفض محتوى النبات من المركبات النايتروجينية البروتينية وزيادة محتواه من المركبات النايتروجينية غير البروتينية ، اي ان نقص المغنيسيوم يعرقل تمثيل البروتين .

ان زيادة مستوى المغنيسيوم بالتربة يؤدي الى زيادة محتواه في النبات وهذا بالطبع يؤدي الى زيادة انتاجية ذلك النبات . فقد وجد (Blue & Charles, 1956) ان اضافة المغنيسيوم على صورة كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$ $7H_2O$ ادى الى ازالة اعراض نقص المغنيسيوم الظاهرة على نباتات الشوفان والبرسيم اما (Jones & Jones, 1978) فقد وجد ان زيادة مستويات المغنيسيوم المضافة الى التربة الرملية المزيجية (Loamy sand) على هيئة كبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4$ $7H_2O$) ودولومايت $CaMg(CO_3)_2$ ادت الى زيادة محتوى نبات الطماطا من المغنيسيوم وكذلك زيادة انتاجية النبات الا انها لاحظا بان محتوى النبات من المغنيسيوم وبالتالي الانتاجية في حالة اضافة كبريتات المغنيسيوم اعلى مما هو عليه في حالة اضافة الدولومايت . وقد عزا سبب ذلك التاثير الى كون سماد كبريتات المغنيسيوم اكثر قدرة على تجهيز التربة بالمغنيسيوم بالمقارنة مع الدولومايت . واكدت الدراسة التي قام بها (اسماعيل ، 1975) إن زيادة الكميات المضافة من المغنيسيوم

الى التربة أدت الى زيادة تركيز المغنيسيوم في بعض المحاصيل العلفية وكذلك الانتاج .

اعراض نقص المغنيسيوم

ان عنصر المغنيسيوم متحرك داخل النبات ، اي ان اعراض نقصه تظهر على الاوراق القديمة وذلك لحركته منها الى الاوراق الحديثة عند الطلب . وتتميز اعراض نقص المغنيسيوم باصفرار أوراق النبات ويبدأ ظهور النقص في راس الاوراق وحوافها وبين العروق . وتظهر اعراض نقصه في الفاكهة باصفرار الاوراق السفلى آذ يبدأ في راس الورقة وحوافها وبين العروق ثم تموت الانسجة بين العروق ويتبع هذا تساقط الاوراق قبل موعدها وخاصة في التفاح اما في الحمضيات فان أوراقها تتلون باللون البرونزي ومن ثم تحترق . وفي العنب تصفر الاوراق كما أن نقصه يؤثر على الانتاج العام .

اسمدة المغنيسيوم

تختلف اسمدة المغنيسيوم الكيمياوية المعدنية بمحتواها من المغنيسيوم (جدول 3) وبخصائصها الكيمياوية والفيزياوية . ويجهز عنصر المغنيسيوم بهيئة كاربونات او اوكسيدات أو كبريتات غالباً ، وان اسمدة كبريتات المغنيسيوم المختلفة اكثر كفاءة من اسمدة كاربونات المغنيسيوم على الرغم من كون النوع الاول غالي الثمن لزيادة تكاليف صناعته (Jung & Dressel, 1969) . ولو حاولنا مقارنة الانواع المختلفة من اسمدة كبريتات المغنيسيوم مع بعضها فان سماد ($MgSO_4 . 7H_2O$) اكثر الاسمدة ذوباناً وكفاءة بالمقارنة مع سماد ($MgSO_4 . 7H_2O$) على الرغم من كون

جدول (3) اسمدة المغنيسيوم الكيمياوية المعدنية

اسم السماد	%MgO
كاربونات المغنيسيوم (مغنيسيوم الحجر الكلسي)	5-20
اوكسيد المغنيسيوم	10-33
$MgSO_4 . H_2O$	27
$MgSO_4 . 7H_2O$	16
كبريتات المغنيسيوم والبوتاسيوم	11
المغنيسايت ($MgCO_3$)	

النوع الاول اغلى ثمناً . أما اسمدة كاربونات المغنيسيوم فان اختيارها للترب الحامضية يعطي لها افضلية لقدرتها على رفع pH هذه الترب بالاضافة لتجهيزها لعنصر المغنيسيوم وقد تفضل اسمدة كبريتات المغنيسيوم في الترب المتعادلة والتي تعاني من النقص الشديد من عنصر المغنيسيوم .

قد يضاف المغنيسيوم بهئية اسمدة اخرى مثل سماد فوسفات الامونيوم والمغنيسيوم العالي الذوبان والذي يستخدم لمعالجة نقص عنصر المغنيسيوم في محاصيل مختلفة . كما يضاف المغنيسيوم مع بعض الاسمدة المركبة مثل NPK أو NK . وبشكل عام فان المعدل المطلوب اضافته الى الترب الرملية يقع بحدود 80-160 كغم MgO / هكتار .

قائمة المصادر

1- Alston, A.M. (1972) J. Agric. Sci. 79: 197-204.

2- Arnon, D.L. (1939) Soil Sci 48: 295-307.

3- Arnon, D.I. and Johnson, C.M. (1942) Plant Physiol. 17: 525-539.

4- Attoe, O.J. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 145.

5- Barber, D.A., Ebert, M. and Evans, T.S. (1962) J. Exp. Bot. 13: 397-403.

6- Bardsley, C.D. and Kilmer, V.J (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 197-199.

7- Barrow, N.J. (1961) Aust. J. Agr. Res. 12: 306-319.

8- Bear, F.E. (1950) Agron. J. 42: 176-178.

9- Black, C.A. (1968) Soil-Plant Relationships 2nd ed. New York.

10- Blue, W.G. & Charles, F.E. (1956) Soil Sci. 82: 51-61.

11- Bolton, J. (1972) J. Agric. Sci. 79: 217-223.

12- Broyer, T.C. and Stout, P.R. (1959) Plant Physiol 10: 271-300.

13- Burstrom, H.G. (1968) Biol. Rev. 43: 287-316.

14- Chan, K.Y., Davey, B.G. and Geering H.R. (1979) Soil Sci. Soc: Am. Proc. 102-109.

15- Chao, T.T., Harward, M.E. & Fang, S.C. (1962) Soil Sci. 94: 276-283.

16- Davies, B.E. (1980) Applied Soil trace elements. Wiley, New York.

17- Deloch, H.W. (1960) Diss. Landw. Fakultat Giessen A.L.

18- Dijkshoorn, W. & van Wijk, A.L. (1967) Plant & Soil 26: 129-157.

19- Embleton, T.W. (1975) n Diagnostic Criteria for Plants & Soils PP. 225-263.

20- Ergle, D.R. and Eaton, F.M. (1951) Plant Physiol. 26: 639-654.

21- Faller, N. (1970) Sulphur Inst. J. 6: 5-7.
22- Freney, J.R. (1961) Aust. J. Agric. Res. 12: 424-432.
23- Geraldson, C.M. (1957) Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21: 621-625.
24- Geraldson, C.M. (1970) Soil Sci. Blant Anal. 4: 187-196.
25- Haeder, H.E. and Mengel, K. (1969) Landw. Forsch.23/1 Sonderh.
26- Hannaway, D.B., Bush, J. and Leggett, E. (1980) Agr. Cal. exp. Stat. Lexig. 40546.
27- Hovland, D. and Caldwell, A.C. (1960) Soil Sci. 89: 92-96.
28- Janzen, H.H. and Bettany, J.R. (1984) Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 100-107.
29- Jarusov, S.S. (1937) Soil Sci. 43: 285-303.
30- Jones, J.B. Hagher, F. (1963) Ohio Agr. Exp. Sta. Circ. 116.
31- Jones, U.S. and Jones, T.L. (1978) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 42: 918-922.
32- Jung, J. and Dressel, J. (1969) Pflanzenban 130: 122-135.
33- Leggett, J.E. and Gilbert, W.A. (1969) Plant Physiol. 44: 1182-1186.
34- Linser, H. and Herwig, K. (1968) Kalibriefe, Fachgeb 2, 2. Folge.
35- Lombin, G. and Fayemi, A.A.A. (1976) Soil Sci. 122: 91-99.
36- Loneragan, J.F., Gladstones, J.S. and Simmons, W.J. (1968) Aust. J. Agric. Res. 19: 353-364.
37- Marquard, R.; Kuhan, H. and Linser, H. (1968) Z. Pflanzenernahr Bodenk. 121: 221-230.
38- Martin, J.P. and Page, A.L. (1969) Plant and Soil. 22: 65-80.
39- Mclachlan, K.D. and De Marco, D.G. (1968) Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husbandry 8: 203-209.
40- Melsted, S.W. (1953) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17: 52-54.

41- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principles of Plant nutrition. Inter. Potash. Inst. Bern.

42- Mulder, D. (1956) Neth. J. Agric. Sci. 4: 333-356.

43- Mulder, D. (1950) Plant and Soil 2: 145-157.

44- Nielsen, D.R. and Biggar, J.W. (1961) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 1-5.

45- Rensing, L. and Cornelius, G. (1980) Biol. Relsch. 18: 197-209.

46- Saalbach, E. and Judel, A. (1961) Sulphur Inst. J. 6: 14-15.

47- Salmon, R.C. (1963) J. Sci. Fd. Agric. 14: 605-610.

48- Salmon, R.C. (1964) Soil Sci. 98: 213-221.

49- Schachtschabel, P. (1940) Kolloid-Beiheft 51: 199-276.

50- Stenuit, D.F. (1959) Landw. Forsch, 13. Sondenh 23-29.

51- Tisdal, S.L. and Nelson, W.L. (1975) Soil fertility and fertilizers. 2rd ed. USA.

52- Ulrich, A., Tabatabai, M.A., Ohki, K. & Johnson, C.M. (1967) In Trace Elements in Human & Animal Nutrition. Academic Press New York, 1971.

53- Uzomokwunye, A. and Melsted, S.W. (1973) Soil Sci. 116: 359-362.

54- Viro. M. (1973) Fach. Justus-Liebig-Universitat Giessen.

55- Woodruff, C.M. (1955) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19: 167.

الفصل السادس

الزنك ـ النحاس ـ المنغنيز

1- الزنك Zinc

إن الزنك Zinc هو أحد العناصر الغذائية الصغرى ، والضرورية لنمو النبات ولاكمال دورة حياته على الرغم من أن الكمية المثلة لاحتياج النبات قليلة جداً . فلعنصر الزنك دور هام في العديد من العمليات الحيوية وكذلك النظام الأنزيمي في النبات . وقد اتجهت عدة دراسات في السنوات الأخيرة لغرض معرفة السلوك الكيمياوي للزنك بالتربة وعلاقة ذلك بجاهزية هذا العنصر للنبات ودوره المؤثر في زيادة الانتاج الزراعي وسنحاول في هذا الفصل إلقاء الضوء على تلك الدراسات لبيان أهمية هذا العنصر .

مصادر ومحتوى الزنك في الترب

تتراوح الكمية الكلية من الزنك بالقشرة الأرضية 0.2% من وزنها . وقد اشار (Thorne et al 1942) الا أن الترب المتكونة من أصل صخر كلسي limestone ذات محتوى أقل من الترب المتكونة من اصل صخر بلوري أو كوارتز . ولاحظ (Mitchell, 1955) إن محتوى الزنك في الصخور القاعدية مثل البيروكسينات Pyroxenes والماجنتيت Magnatite تحتوي حوالي 100 جزء بالمليون ، في حين تحتوي الصخور الحامضية مثل البايوتايت biotite حوالي 50 جزءاً بالمليون ، والصخور الرملية أو الكلسية فإن محتواها أقل من 50 جزءاً بالمليون .

إن معدل محتوى الزنك في الاجزاء اليابسة من الارض يصل تقريباً الى 80 جزءاً بالمليون ، في حين إن محتوى الزنك في الترب يتراوح بين 10 الى 300 جزء بالمليون (Goldschmidt, 1954) .

ويختلف محتوى الترب المتأثرة بالاملاح وفقاً لاختلاف مادة الأصل ، فقد وجد (Stanchev et al 1962) إن محتوى الترب الملحية القلوية المتواجدة في بلغاريا يتراوح بين 40 الى 60 جزءاً بالمليون ، في حين وجد أن محتوى الترب القلوية في الهند يقع بحدود 25 الى 50 جزءاً بالمليون ، كما لوحظ وجود تغيرات متشابهة في محتوى الترب الكلسية من الزنك فمعدل محتوى نماذج من الترب الكلسية الامريكية كان بحدود 30 جزءاً بالمليون في حين كان معدل محتوى الترب الكلسية المصرية يصل الى 280 جزءاً بالمليون (Langenbeck & Luckresinger, 1959) .
حين كان معدل محتوى الترب الكلسية المصرية يصل الى 280 جزءاً بالمليون (Langenbeck & Luckesinger, 1959) .

واشارت بعض الدراسات على الترب العراقية الى أن قيم الزنك الكلي تتراوح بين 30–80 جزءاً بالمليون (Awad, 1984, Ali, 1977) في حين اكد (NAHHOWD, 1981) بأن الترب العراقية فقيرة في محتواها الكلي من الزنك وقد بلغت متوسطاته (27.04) ، (33.73) و (30.24) جزءاً بالمليون في الخطوط موصل – سنجار ، موصل – عقرة ، موصل – زاخو على التوالي . كما أن لمكونات الطين والغرين الدور الايجابي في تحديد كمية الزنك الكلي عندما كان الارتباط معنوياً (r = 0.809**) وكذلك المادة العضوية (r = 0.386**) .

صور الزنك في التربة

ينتشر الزنك في الترب بصورة مختلفة إما ايونية أو بهيئة مركبات مخلبية ذائبة في محلول التربة . والبعض الآخر يمكن أن يوجد على مواقع التبادل (الصور المتبادلة) ، وقد يدخل الزنك في تركيب بعض معادن الطين من خلال عملية الاحلال المتماثل أو قد يوجد على شكل مركبات مترسبة أو في صورة معقدات معدنية – عضوية metale-organic clay complexes ومن صور الزنك الرئيسية هي :

1- الزنك المعدني

ينتشر الزنك في الجزء المعدني للتربة بهيئة معادن Ferromagnesium مثل معدن البايوتايت ومعدن الهوربلند hornblende . كذلك يوجد بصورة كبريتيد

الزنك Sphalerite (ZnS) ، كاربونات الزنك Smithsonite ($ZnCO_3$) ، سيليكات الزنك Hemimorphite $Zn_4(OH)_2Si_2O_7.H_2O$. وإن بعض هذه المركبات يسود تحت ظروف معينة وقد أشار (Goldschmidt, 1954) الى انتشار الزنك في معادن التربة المختلفة بسبب احلاله محل المغنيسيوم (نصف قطر المغنيسيوم يساوي 0.78 إنجستروم) أو محل الحديدوز (نصف قطره يساوي 0.83 أنجستروم) إن تجويه المعادن الحاوية على الزنك يساهم في تحرر هذا العنصر الى محلول التربة ومنه يدخل في تفاعلات عديدة قد تؤثر على جاهزيته للنبات .

2- الزنك المتبادل والممدص

يحتل الزنك بعض مواقع التبادل على أسطح غرويات التربة وقد يكون بهيئة ممدصة غير قابلة للاستخلاص بالطرق الكيمياوية المتعارف عليها . ويرتبط الزنك بمواقع التبادل بهيئة ايونية Zn^{+2} أو $ZnOH^+$ أو $ZnCl^+$ وتختلف المعادن بقدرتها التفضيلية لامدصاص هذه الصور الايونية فقد حصل (El-Gabaly & Jenny, 1943) على معلومات تشير الى أن قدرة معادن الكاؤلينات Kaolinite على امدصاص الزنك الاحادي تفوق قدرة معادن البنتليت bentinite .

وقد وجد (Wiklander, 1953) إن كمية الزنك المتباذل في التربة يتراوح بين (3.5-23.0) جزء بالمليون وإن جزءاً من هذه الكمية لا يمكن استخلاصها بواسطة خلات الامونيوم ، لذا يمكن اعتبارها الصور المثبتة بواسطة المعادن الطينية التي يمكن تحديدها بأنها الصورة غير الجاهزة للامتصاص من قبل النبات . وقد بين (Power & Pang, 1947) اختلاف قدرة الترب على تثبيت الزنك ، إذ وجدا أنَّ 20-100% من الزنك المضاف الى تربة مزيجية يبقى في صورة قابلة للاستبدال ، في حين اشارت دراسة (Chandler et al 1932) الى أنَّ قدرة بعض عينات التربة على تثبيت ما يعادل 170-1000 جزء بالمليون وإن الزنك الممدص بغرويات التربة قد يكون جاهزاً للنباتات إذ يمثل صور الزنك المتبادل والممدص وكذلك المثبت .

إن الغرويات المسؤولة عن مسك الزنك بصورة متبادلة تكوّن معادن الطين ذات السعة التبادلية الكايتونية العالية غالباً . ويمدص الزنك بواسطة كاربونات الكالسيوم امدصاصاً نوعياً Specific adsorption (Jurinak & Bauer, 1956, Singh, 1980; Orabi et al 1981) . وقد اشار (Saeed, 1977) الى زيادة قدرة الترب المحتوية على نسبة عالية من كاربونات الكالسيوم على امدصاص الزنك ، وإن الكمية الممدصة يمكن ارجاعها للتربة واستفادة النبات منها عالية .

ويدمص الزنك بواسطة الاكاسيد والهايدروكسيدات الحرة المنتشرة في الوسط الحامضي وإن الامدصاص نوعي ويؤثر سلباً على جاهزية الزنك في هذه الترب (Kalbasi et al 1978) ويمكن ايضاح طبيعة الامدصاص بالآتي :

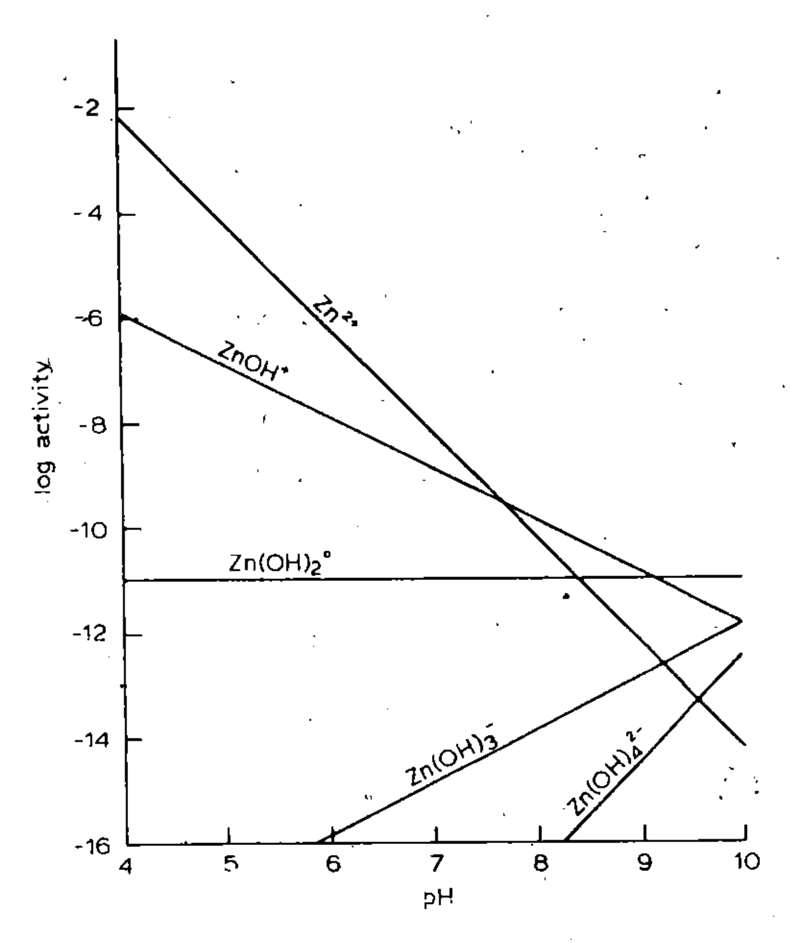
$$\begin{array}{l} |\ \ \diagup OH \\ Fe \\ |\ \ \diagdown OH \\ O \\ |\ \ \diagup OH \\ Fe \qquad H \\ |\ \ \diagdown OH \end{array} \quad + \quad Zn^{2+} \quad \rightleftharpoons \quad \begin{array}{l} |\ \ \diagup OH \\ Fe \\ |\ \ \diagdown O \\ O \qquad \ \diagdown Zn \\ |\ \qquad \diagup \\ Fe \ \diagup O \quad H \\ |\ \ \diagdown OH \end{array} \quad + 2H^+$$

أي أن الزنك يحل محل أثنين من ايونات الهايدروجين مما يؤدي الى تكوين جسر خاص وإن عملية الارجاع للزنك الممدص صعبة جداً مقارنة مع امدصاص الفسفور بواسطة الاكاسيد . وقد بين (Stanton & Burger, 1967) إن اقصى قوة امدصاصية بواسطة الاكاسيد تكون عند pH (6.5–5.5) .

3- الزنك الذائب في محلول التربة

يكون الزنك املاحاً ذائبة مع العديد من الايونات السالبة مثل الكلوريدات والنترات والكبريتات ، وقد يرتبط مع اعادة العضوية في صورة معقدات ذائبة مع المادة العضوية . إن صور الزنك الذائبة في محلول التربة تكون على هيئة Zn^{2+} ، $ZnOH^+$ وكميات قليلة من $Zn(OH)_3^-$, $Zn(OH)_4^{2-}$ وإن تركيز Zn^{2+} و$Zn(OH)^+$ يقل عند زيادة تراكيز $Zn(OH)_3^-$ و$Zn(OH)_4^{-2}$ أي مع زيادة pH الوسط . ويبين الشكل (1) صور الزنك الذائبة في محلول التربة وعلاقتها مع pH محلول التربة .

أشار (Hodgson et al. 1969) الى إن معدل تركيز الزنك الذائب في محلول التربة الكلسية في ولاية Colorado الامريكية أقل من 2 جزء بالمليون . بينما أوضح (Brad ford et al. 1969) بأن تركيز الزنك في مستخلص العجينة



الشكل **(1)** العلاقة بين اذابة صور الزنك و **pH** الوسط **(Lindsay, 1979)** .

المشبعة لبعض ترب كاليفورنيا بحدود 0.01-0.4 جزء بالمليون . كما أظهرت التحليلات التي قام بها **(Billings et al, 1969)** في بعض الترب الكندية وجود الزنك الذائب بمقدار 0.01-10 جزء بالمليون .

إن انتقال الزنك في المحلول ليس من المشاكل التي يجب وضعها في الاعتبار فيما عدا تلك المحاليل المحتوية على ايونات من الكبريتيد وحتى في المحاليل المعتدلة القلوية غير الكبريتيدية فأن كميات كبيرة من الزنك تتواجد على صورة ذائبة في وجود العدد من الايونات السالبة الشائعة .

الزنك الجاهز في الترب

يتضح من السلوك الكيمياوي للزنك بالتربة أن كلاً من الصور الذائبة والمتبادلة ذات جاهزية عالية للاستهلاك من قبل النباتات وإن جزءاً من الزنك

غير المتبادل قد يتحرر بمعدل بطيء قد لا يكفي لسد الاحتياجات النباتية في هذا العنصر . وتلعب حوامض التربة الكيمياوية والفيزياوية دوراً هاماً في التحكم في جاهزية ، لذا سنحاول دراسة اهمها لكي تكون عاملاً مساعداً في فهم السلوك الكيمياوي للزنك الاصلي بالتربة والمضاف بهيئة أسمدة .

العوامل التي تؤثر على جاهزية الزنك

ان المحاولة في توفير كمية مناسبة من الزنك الجاهز بالتربة ، تتطلب المعرفة الدقيقة بالعوامل المؤثرة على الصور الجاهزة. ولابد من الاشارة هنا الى وجود عدد من العوامل التي تتحكم بالجاهزية أهمها : -

1- درجة تفاعل التربة (pH)

إن زيادة قيمة pH التربة يؤدي الى إنخفاض تركيز الزنك (Zn) في محلول التربة . ويمكن تحديد العلاقة بين الأثنين كما وصفها (Lindsay 1972 Lindsay, & Norvell, 1969) بالآتي

$$Zn^{2+} + 2Soil - H \rightleftharpoons Zn - Soil + 2H^{+} \quad \log K = -6$$

$$[Zn^{2+}] = \frac{[H^{+}]^{2}}{10^{-6}}$$

$$= 10^{6}\,[H^{+}]^{2}$$

وهذا يعني ان العلاقة بين الأثنين علاقة طردية ، وان تركيز الزنك يقل بمقدار 100 مرة لكل زيادة في قيمة pH التربة . أي إن تركيز الزنك عند pH = 6 هو :

$$[Zn^{+2}] = 10^{6}\,.\,10^{-12}$$

$$= 10^{-6} \text{ (مول لكل لتر)}$$

وان تركيز الزنك عند pH = 7 هو :

$$[Zn^{+2}] = 10^{6}\,.\,10^{-14}$$

$$= 10^{-8} \text{ (مول لكل لتر)}$$

لذا يمكن القول إنَّ محتوى الترب العراقية من الزنك قليل بسبب ارتفاع قيم pH هذه الترب .

ولدرجة تفاعل التربة تأثيرات إضافية فهو يعتبر عاملاً هاماً ومحدوداً بنفس الوقت لامدصاص الزنك بالاكاسيد وكذلك ترسيبه بهيئة مركبات مختلفة وكذلك فإن لدرجة تفاعل الترب دوراً مؤثراً على قدرة جذر النباتات على امتصاص هذا العنصر ونقله الى الاجزاء العليا من خلال تأثيره على درجة ثبات المعقدات العضوية الذائبة وغير الذائبة . وكما اوضح (Lutz et al. 1972) فإن زيادة pH التربة تؤدي الى إنخفاض تركيز الزنك في النباتات . وقد بين (Bawen, 1969) خلال دراسته لبعض النظريات الحركية إن لايونات الهايدروجين تأثيراً تنافسياً على كل من الزنك والنحاس إذ تعيق من امتصاصها بواسطة الانسجة الورقية لبعض النباتات مثل البنجر السكري .

إن افضل قيم لدرجة تفاعل التربة يكون الزنك بحالة جاهزة إن لم تتداخل معه التأثيرات الأخرى هو من 5-7 في الترب المعدنية ومن 4.5-60 في الترب العضوية . ولهذا يمكن إعتبار القدرة في التحكم في pH التربة وجعله في الحد المناسب له انعكاسات ايجابية على جاهزية الزنك . لذا أتجهت الدراسات في خلط الزنك ببعض المحسنات الحامضية أو معاملة التربة ذات الـ pH المرتفع بتلك المحسنات قبل الاضافة . وقد أظهرت هذه الاتجاهات نتائج إيجابية جيدة في تحسين جاهزية الزنك . فقد لاحظ (Ryan et al, 1974) زيادة جاهزية الزنك بعد إضافة المحسنات الحامضية للتربة الكلسية .

2- تأثير كاربونات الكالسيوم

اشار العديد من الباحثين الى إن لكاربونات الكالسيوم تأثيراً سلبياً على جاهزية الزنك . ويمكن تحديد ذلك التأثير بالآتي :

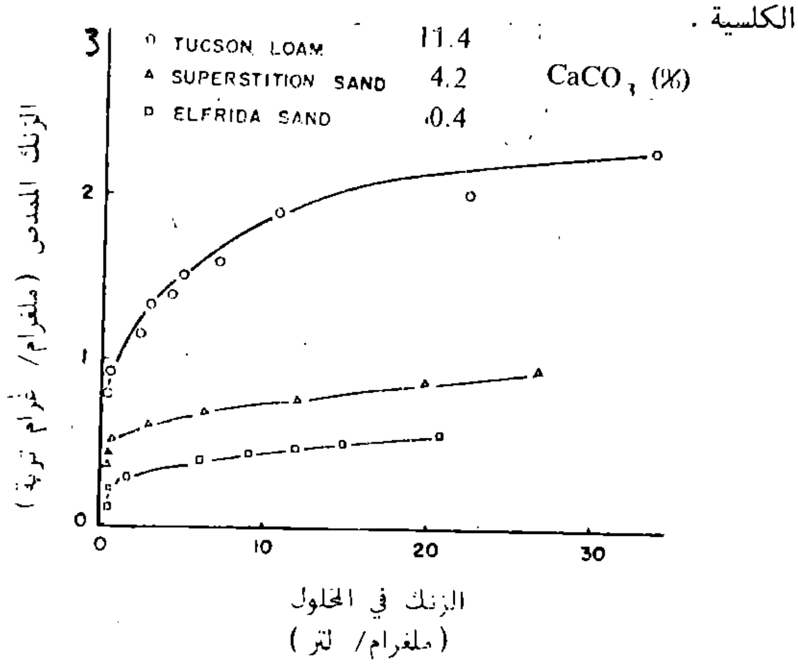
(1) إن ذوبان كاربونات الكالسيوم يساعد على تحرر أيونات الهايدروكسيل مما تعمل على رفع pH التربة.

(2) لقد اشار (Jurinak & Bauer, 1956) الى وجود تفاعل خاص يطلق عليه بالتفاعل التداخلي بين الزنك وكاربونات الكالسيوم Calcium carbonate-Zn interaction الذي يؤدي الى التقليل من جاهزية الزنك ، ويتلخص هذا التفاعل بإحلال الزنك محل أيون المغنيسيوم بسبب تقارب أنصاف أقطارها . لذا فإن هذا التفاعل يكون سائداً في الترب الكلسية الغنية بالمغنسايت ($MgCO_3$) magnesite . وكذلك بالدولومايت Ddomite

$MgCa(CO_3)_2$ الى حد ما وقد لا يحدث عند وجود الكلسايت Calcite
. $(CaCO_3)$

(3) لقد اشار العديد من الباحثين الى امدصاص الزنك بالترب الكلسية مما يؤثر ذلك على جاهزيته للنبات . فقد أكد (Udo **et al**. 1970) هذه الظاهرة وأشار الى إن تركيز الزنك ينخفض بشكل معنوي عند وجود كاربونات الكالسيوم . وأن إمدصاص الزنك يمكن وصفه بمعادلات الامدصاص الأيوني وبالأخص معادلة لانجومير Langumir equation (الشكل 1) .

(4) ان وجود كاربونات الكالسيوم يؤدي الى ترسيب الزنك على هيئة كاربونات الزنك $ZnCO_3$ أو هايدروكسيد الزنك $Zn(OH)_2$ حسب ماأورده (Chaudhry **et al**. 1976) . ولكن هذا الرأي قد لا يرى التأييد من قبل بعض الباحثين بسبب اعتبار النواتج المذكورة مركبات عالية الذوبان ويمكن استخدامها كسماد (Allen & Terman, 1966) . وقد أشار (Kalbasi **et al**, 1978) الى تكوين مركبات اكثر ترسيباً من كاربونات وهايدروكسيدات الزنك ويرجع لها السبب في خفض جاهزية الزنك بالترب الكلسية .



الشكل (1) (أ) العلاقة بين تركيز الزنك في محلول الأتزان والكمية الممدصة على سطح غرويات الترب الكلسية ذات المحتوى المختلف من كاربونات الكالسيوم (ب) وصف التفاعل بين الزنك وغرويات الترب الكلسية ذات المحتوى المختلف من كاربونات الكالسيوم حسب نظرية لانجومير **Langumir equation** . (**Udo et al. 1970**)

(5) المحتوى العالي من كاربونات الكالسيوم يؤدي الى تكوين تركيز عالٍ من ايونات الكالسيوم والبيكاربونات في محلول التربة . ولهذه الايونات تأثير قوي في خفض قدرة النبات على امتصاص الزنك (Forno ,Wlace **et al** 1974, 1970) فقد حدد (Chaudhry & Loneragan, 1972) التركيز الحرج المؤثر من الكالسيوم بحدود 40 ملي مول كالسيوم/ لتر في محلول التربة . ولهذا نرى تركيز الزنك في النبات يقل مع زيادة نسبة كاربونات الكالسيوم في التربة .

3- تأثير معادن الطين والاكاسيد الحرة

لقد عرف منذ فترة طويلة أن لبعض معادن الطين قدرة على تثبيت الزنك في صورة غير جاهزة للنبات ، فقد اشار (Elgabaly, 1950) و (Elgabaly **et al**, 1943) الى تأثير معادن الطين على جاهزية الزنك وإن نسبة عالية منه تثبت في معادن البروسايت **brucite** الفيرمايكوليت **vermiculite** والطين المشبع بالمغنيسيوم **Mg-Saturated Clay** وقد تصل الكمية المثبتة الى حدود 134-344 ملي مكافيء زنك لكل 100 غرام تربة . أما المعادن المسكوفايت **Muscovite** و **bentonite** الكاؤولينايت **Kaolinite** و **Pyrophillite** والبايوتايت **biotite** فقدرتها على التثبيت محدودة تصل الى حدود 6-24.5 ملي مكافيء زنك لكل 100 غرام تربة . كما أشار (Elgabaly & Jenny, 1943) الى قدرة جذور نباتات الشعير على ازالة الزنك من معادن الطين **bentonite** (البنتونايت) بدرجة اكبر من معادن الكاؤولينايت .

وتلعب الاكاسيد الحرة في الترب الحامضية الدور الاكثر تأثيرا في عرقلة جاهزية الزنك . وكما سبق ان اوضحنا ان الامدصاص بهذه الغرويات هو امدصاص نوعي . وعند عرض المدلولات العملية لنتائج (Kalbasi **et al**. 1978) والمبينة في الجدول (أ) نرى ان الامدصاص يزداد مع ارتفاع قيمة **pH** الوسط ضمن حدود الحموضة وان قدرة أيون الباريوم لازاحة المدمص تقل مع ارتفاع **pH** الوسط ايضا مما يشير الى التأثير السلبي على جاهزية الزنك المضاف الى الترب الحاوية على هذه الاكاسيد .

جدول (1) إمدصاص الزنك بواسطة اكاسيد الحديد والالمنيوم .

pH المعلق	الزنك المدمص ملي مول/ 100 غرام	(%) قدرة الباريوم على طرد الزنك (باستعمال IM $BaCl_2$)
أوكسيد الالمنيوم		
6.42	5.75	0.35
6.70	15.00	0.28
6.92	34.65	0.17
اوكسيد الحديد		
6.42	18.30	0.30
6.66	27.55	0.23
6.96	56.45	0.10

4- تأثير المادة العضوية

اوضحت دراسات عديدة بان هنالك علاقة تلازمية قوية بين المادة العضوية وجاهزية الزنك (مثل , Follett & Lindsayو Haq & Miller, 1972و Brown et al 1971 و1970)فقد تتداخل المادة العضوية مع الزنك فتكون الاتي :

1- المعقدات الذائبة **Soluble Zinc-organic Complexes**
2- المعقدات غير الذائبة **Insoluble Zinc-organic Complexes**

وقد اشار (Hodgson et al. 1965, 1966) الى ان 60% من الزنك يكون بصورة ذائبة بعد اضافة المادة العضوية الى التربة ، وان هذه النسبة تعتمد على نوعية الجاميع الموجودة في المادة العضوية وتركيبها . إذ لوحظ ان مجاميع المادة العضوية الحاوية على حوامض الفولفيك (Fulvic acids) تكون معقدات زنك ذائبة بالماء ، أما الجاميع العضوية الحاوية على حوامض الدباليك (Humic acids) فتكون معقدات غير ذائبة بالماء (Stevenson & Adakani, 1972) . فقد بين (Milap Chand & Sinha, 1980) ان اضافة حوامض الفولفيك الى تربة ملحية قلوية (pH = 8.2) ادى الى زيادة تركيز الزنك من 4×10^{-11} مول/ لتر

في معاملة المقارنة Control الى 1.2×10^{-9} مول في المعاملة التي اضيف لها حامض الفولفيك ، اي بواقع زيادة قدرها 3×10^{-4} مول/ لتر ، كما لاحظ ان اضافة هذه الحوامض ساعد على زيادة انتاج المادة الجافة لمحصول الرز وكذلك محتواها من الزنك والكمية الكلية الممتصة مما يعكس لنا بوضوح اهمية المادة العضوية في زيادة جاهزية الزنك . .

5- تأثير الملوحة

يؤثر المستوى الملحي للتربة على جاهزية الزنك من خلال تأثير التركيز العالي لبعض الايونات السالبة والموجبة الذائبة في محلول التربة . فقد سبق أن اوضحنا تأثير زيادة تركيز الكالسيوم والبيكاربونات على جاهزية الزنك وهنالك بعض الدراسات التي تبين تأثير ايونات اخرى . فقد اشار (Shukla et al. 1980) الى ان زيادة القوة الايونية لمحلول التربة يشجع امدصاص الزنك على سطح الغرويات ، كما ان زيادة كمية الصوديوم المتبادل في التربة يؤدي الى زيادة قدرة التربة على امدصاص الزنك بالمقارنة مع الايونات الموجبة الاخرى . ويمكن ترتيب قدرة الزنك على الامدصاص وتأثير نوع الايون الموجب السائد على السطح بالآتي :

الصوديوم > البوتاسيوم > المغنيسيوم ≥ الكالسيوم > الهايدروجين

اي بمعنى ان قدرة الزنك على الامدصاص في الترب الحاوية على نسبة عالية من الهايدروجين المتبادل قليلة جداً وبذلك تكون الجاهزية عالية .

6- تأثير الرطوبة

اشار كل من (Van Schaik et al. 1966) و (Phillips & Brown, 1968) و (Koshino & Sekizawa, 1973) الى زيادة حركة الزنك وانتشاره بزيادة المحتوى الرطوبي بالتربة . وقد بين (Rossi & Beauchamp, 1971) ان كمية الزنك الممتصة من قبل نبات فول الصويا المزروع في احواض ترابية لمدة سبعة ايام عند رطوبة نسبة 70% اكثر من الكمية الكلية الممتصة عندما تكون الرطوبة النسبية 25% . كما وجد (Glordano, 1979) إن تركيز الزنك في نبات الرز المزروع في الترب المغمورة بالماء اكثر من تركيزه في النباتات المزروعة في ترب غير مغمورة .

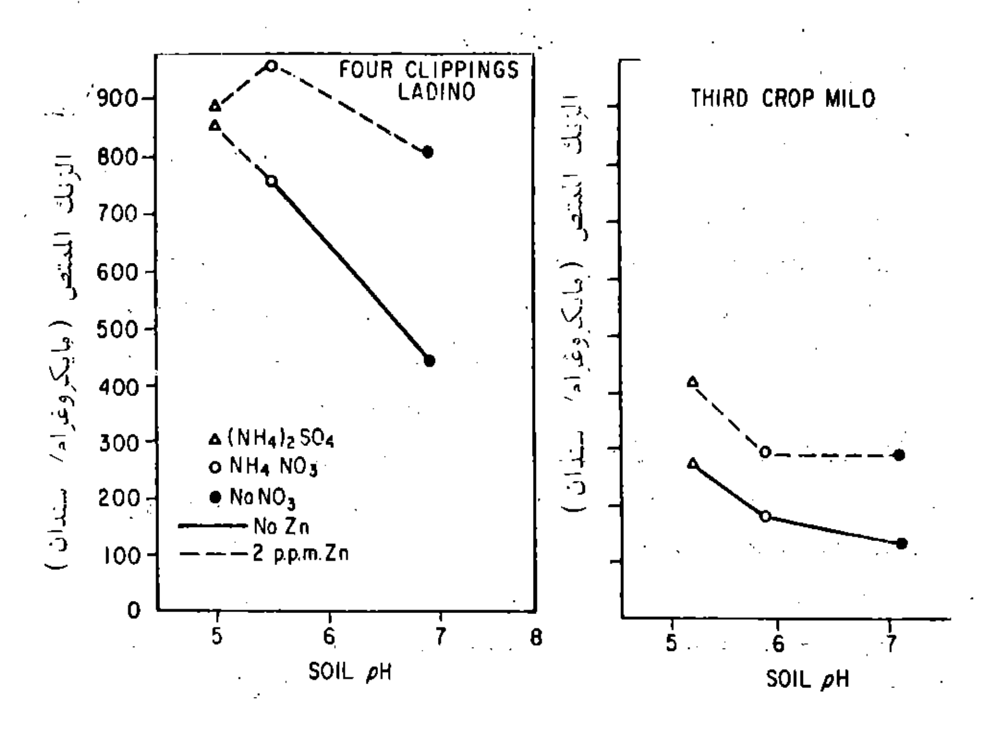
7- تأثير اضافة الاسمدة النايتروجينية :

لوحظ أن اضافة الاسمدة النايتروجينية تؤدي الى نقص الزنك الجاهز للنبات ، اذ تظهر اعراض نقصه على النبات (Chaudhry & Lone 1970). وقد برزت اسباب ذلك بعدة ظواهر منها الآتي : —

(أ) قابلية النبات على تثبيت الزنك في المجموع الجذري بتكوينه معقدات غير متحركة مع البروتين immobile Zn-protein complexes ، وهذا بالطبع يمنع حركة الزنك الى اجزاء النبات الاخرى (Ozanne, 1955) .

(ب) تختلف قدرة الاسمدة النايتروجينية على التأثير ، فسماد نترات الصوديوم وسماد اليوريا لها تأثير فعال في زيادة نقص الزنك في النباتات عن طريق خفض اذابة الزنك نتيجة لزيادة pH التربة بعد اضافة هذه الاسمدة (اسمدة قاعدية التفاعل) . فقد ايد (Giordano et al. 1959, et al. Viets 1966) هذا التفسير بعد تجارب خاصة لبيان تأثير هذه الاسمدة على جاهزية الزنك . في حين اشار (Forno, 1970) الى إن لسماد اليوريا تأثيراً اضافياً على جاهزية الزنك من خلال ايون البيكاربونات الذي يمنع امتصاص الزنك .

(جـ) لاحظ البعض ان اضافة الإسمدة النايتروجينية الحامضية التفاعل مثل سماد كبريتات الامونيوم وسماد نترات الامونيوم لها تأثير ايجابي في زيادة امتصاص الزنك بسبب قدرة هذه الاسمدة على خفض pH التربة (Boawn et al., 1957) . واوضحوا ان مثل هذا التأثير ليس ذا أهمية محسوبة في الترب الطينية الكلسية ذات القدرة التنظيمية العالية . ولمقارنة الاسمدة النايتروجينية في تأثيراتها على جاهزية الزنك يمكن الرجوع الى نتائج (Viets et al. 1957) كما موضحة في الشكل (2) .



△ كبريتات الامونيوم
○ نترات الامونيوم
● نترات الصوديوم
ـــــ بدون زنك
- - - - 2 جزء بالمليون زنك مضاف

الشكل (2) تأثير الاسمدة النايتروجينية على pH التربة وجاهزية الزنك .

8- تأثير الاسمدة الفوسفاتية

لقد درس التفاعل بين الزنك والفسفور من قبل عدد من الباحثين . وقد كان معروفاً ان المستوى العالي من الفسفور المضاف بسبب نقصاً بالزنك الممتص ، وقد عزي سبب ذلك للآتي :

(أ) تكوين رواسب على هيئة مركبات فوسفات الزنك كان الاعتقاد السائد عن تأثير الفسفور المضاف على جاهزية الزنك هو تكوين مركب قليل الذوبان هو فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2$. وقد اعتبر هذا المركب مسؤولاً عن نقص الزنك في الترب المختلفة . فقد حاول (Binghom, 1963) دراسة هذا المركب ودوره في نقص الزنك ، ولاحظ ان هذا المركب يعطي تركيزاً

من الزنك مقداره 16 مايكرومول حتى في pH مساوياً الى 8 ، في حين احتياج النبات لايزيد عن 0.1 مايكرومول وبهذا لا يمكن النظر اليه كمركب مسؤول عن نقص الزنك . وقد دفعت هذه النتائج (Terman, Allen & 1966) الى استخدام هذا المركب كسماد .

وعند دراستنا لظروف تكوين هذا المركب في الترب العراقية (Awad, 1984) وجدنا أن اذابة المركب $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$ والمركب $ZnHPO_4$ عالية جداً بحيث يصعب عليها التحكم في ذوبان الزنك في مثل هذه الترب وهذا يؤكد ان التفاعل خارج النبات ليس كافياً لشرح التداخل بين الزنك والفسفور .

(ب) لاحظ (Chaudhry and Loneragan, 1970) إن اضافة الفسفور تقلل من تركيز الزنك في قمة النبات من خلال تأثير الفسفور في زيادة النمو مما يؤدي ذلك الى تخفيف تركيز الزنك فقد اشار (Sharma et al 1973) الى قدرة الفسفور على زيادة النمو بمقدار 10 مرات وهذا بالطبع يؤدي الى انخفاض التركيز . وبهذا يمكن التعبير عن هذا العامل بتأثير التخفيف dilution effect .

(جـ) الاضطراب الحيوي في خلايا النبات الناتج من عدم التوازن بين احتياج النبات من الزنك والفسفور . فقد اشار (Millikan et al. 1968) الى اهمية العلاقة P / Zn في تحديد تأثير الفسفور على جاهزية الزنك وحركته داخل النبات . إن الفسفور يشجع نقص الزنك بسبب عدم التوازن بين نسبة الفسفور الى الزنك وهذا بالأساس كانت نتيجة اختلاف معدل حركة الزنك والفسفور من الجذور الى القمم (Awad, 1984, Burleson et al 1961) .

(د) فسر بعض الباحثين تأثير الفسفور في زيادة نقص الزنك ، بتكوين الزنك لمعقدات غير متحركة داخل المجموع الجذري مع البروتين وإن الفسفور يشجع تكوين هذه المعقدات (Burleson et al 1961) .

الزنك والعناصر الغذائية الصغرى الاخرى

إن اضافة عنصر النحاس يساعد على زيادة نقص الزنك . فقد أوضح (Lacas, 1945) أنّ اضافة النحاس يؤدي الى ظهور اعراض نقص الزنك على النبات وقد فسر سبب ذلك في قدرة النحاس على منع النبات من امتصاص الزنك . وقد لاحظ (Schmid et al, 1965) هذه الظاهرة في محاصيل مختلفة وقد عزا سبب ذلك لتشابه مواقع امتصاص الزنك والنحاس على جذور النبات . وقد أضاف

(Hodgson, 1960) الى ذلك بأن قدرة النحاس على الحركة في محلول التربة اعلى من حركة الزنك مما يساعد ذلك على امتصاص اكبر للنحاس . وقد لاحظ (Kausar **et al** 1976) أن المحاصيل الزراعية تختلف في قدرتها على الأستجابة للتأثير المتداخل بين النحاس والزنك ، فقد وجدوا أن تأثير النحاس في تقليل محتوى النبات من الزنك في الحنطة اكثر من الرز .

أما عنصر الحديد فإنه يؤدي الى زيادة حركة الزنك في النبات . أي يؤدي الى زيادة احتياج النبات الى الزنك وإن Fe/Zn تزداد ، ويعتمد الحدّ الحرج لهذه النسبة على نوع النبات وبشكل عام فإن النسبة $\frac{Fe}{Zn}$ المساوية الى 20 تمثل الحد المطلوب في معظم المحاصيل الزراعية .

الزنك ونمو النبات

إن الزنك عنصر غذائي ضروري لنمو المحاصيل الزراعية لذا فإنه يوجد في جميع الانسجة النباتية ويتجمع بتركيزات مختلفة في اجزاء النبات المختلفة . فقد (Sparr **et al** 1968) جدولاً قياسياً يبين تركيز الزنك في نباتات مختلفة ، ومن هذا الجدول يمكن استنتاج الحدود المعبرة عن السمية أو النقص أو الكفاية . وقد أشار (Chapman, 1966 و Gladstones & Loneragan, 1967) الى أن الحد المطلوب للزنك في النبات يتراوح بين 10–100 جزء بالمليون لمعظم المحاصيل الزراعية . وبصورة عامة يكون محتوى الزنك عالياً في البادرات ويقل مع تقدم العمر (Riceman & Jones, 1958, Corsline **et al** 1965) . وقد ذكر (علي ، 1977) أن الحد الحرج لتركيز الزنك في نبات الذرة الصفراء المزروع في الترب العراقية هو (17.5) جزء بالمليون .

يعتبر الزنك عاملاً مساعداً لعملية الاكسدة في خلايا النبات . وتأتي اهمية هذه العملية في تنظيم استهلاك السكر وزيادة الطاقة اللازمة لانتاج صبغة الكلوروفيل وتساعد على تكوين الاوكسينات Auxins كما تعزز امتصاص الماء وتمنع التفزم . ويدخل الزنك في أنزيم Carbonic anhydrase الذي يحفز تحلل حامض الكاربونيك الى ثاني اوكسيد الكاربون والماء وهو ضروري ايضاً لتكوين الحامض الاميني tryptophane ويعمل الزنك على ربط الانزيمات والمواد الخاضعة لفعل الخمائر وتكثيفها ويشترك في العمليات الحيوية للنايتروجين في النبات الى حد كبير . وله دور في تكوين النشأ .

أعراض نقص الزنك

يعتبر الزنك من العناصر غير المتحركة داخل النبات ، لذا فإن اعراض نقصه المتعلقة باللون تظهر على الاوراق الحديثة التكوين . والنباتات التي تعاني من نقص الزنك تمتاز بتلون العروق الوسطية للورقة بلون أصفر ، أما بقية مساحة الورقة فإن لونها أخضر شاحب أو مصفر وأحياناً يكون أبيض . ومستوى الزنك في النباتات التي تعاني من نقص الزنك يتراوح مابين 0-10 جزء بالمليون في المادة الجافة .

إن نقص الزنك في اشجار الفاكهة قد يؤدي الى تساقط الاوراق . ونتيجة للاختلاف في الاعراض بين النباتات وصعوبة التمييز احياناً بين اعراض الامراض أو الالوان الخاصة باعراض نقص عناصر أخرى ، يوصى العديد من الباحثين باعتماد التحاليل النباتية وهذا يتطلب معرفة الحدود المطلوبة لنمو وانتاج افضل .

أسمدة الزنك وطرق إضافتها

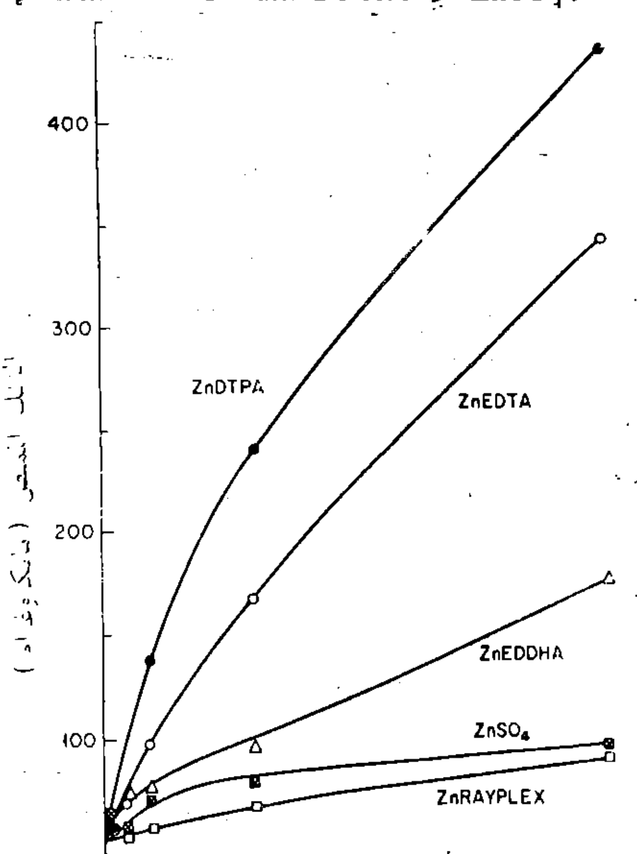
تضاف أسمدة الزنك لمعالجة نقص النبات غالباً . ويعتبر سماد كبريتات الزنك $ZnSO_4$ من اكثر الأسمدة المعدنية شيوعاً . يحتوي هذا السماد على 36% زنك ويضاف بطريقة الرش لمعالجة النقص أو يضاف بشكل مباشر للتربة . يمتاز هذا السماد بكونه ذائباً بالماء ويتفاعل مع مكونات التربة المختلفة مكوناً مركبات ذات حاصل اذابة مختلف ففي الترب الكلسية يتعرض الزنك المتحرر من السماد الى تفاعل خاص مكوناً كاربونات وهيدروكسيدات الزنك ($ZnCO_3$, $Zn(OH)_2$) كنواتج وسطية تتحول مع الزمن الى مكونات اقل ذوباناً واقل جاهزية . فقد درس (Kalbasi **et al**, 1978) تفاعل سماد كبريتات الزنك في تربة غير كلسية (pH 8.2) ووجدوا أنَّ المركب $Zn(OH)_2$ يعتبر ناتج التفاعل الرئيسي في التربة الذي يبقى لفترة لا تتجاوز اربعة اسابيع يتحول بعدها الى مركب اقل ذوباناً وجاهزية . أما إضافة السماد المذكور الى ترب كلسية فإن النواتج الرئيسية من التفاعل كانت $ZnCO_3$ و $Zns(CO_3)_2(OH)_6$ وقد تحولت أيضاً بعد اسبوعين الى نواتج اقل ذوباناً وجاهزية .

ونظراً لحركة الزنك البطيئة بالتربة ، فإن طريقة الأضافة السطحية للأسمدة الكيمياوية المعدنية ستكون ذات تأثير قليل أو محدود . فقد بين (Lindsay, 1972) أهمية اضافة سماد كبريتات الزنك بطريقة الجور مما يعطي جاهزية اكبر بالمقارنة مع الطرق المختلفة وبالأخص بالترب القاعدية التفاعل . وفي دراسات

اخرى ، بينت اهمية طريقة الخلط أو الأضافة السطحية في الترب المتعادلة أو القليلة التثبيت .

أجريت عدة دراسات مقارنة لبيان كفاءة الاسمدة العضوية وغير العضوية (Brown & Krantz, 1966; Vinande **et al**. 1968) وقد لوحظ أنَّ مركبات الزنك الخلبية تعدُّ مصدراً جيداً غالباً لتجهيز الزنك في مختلف الترب بالمقارنة مع المصادر غير العضوية . وفي دراسة (Andersson, 1964) على انواع عديدة من المركبات الخلبية لمعالجة نقص الزنك في الذرة الصفراء النامي في الترب الكلسية وقد بينت النتائج في الشكل (3) التأثير الفعال للمركبات الخلبية بالمقارنة مع المصادر المعدنية . ونتائج المقارنة بين صور مركبات الزنك الخلبية تكون بالترتيب التالي.

ZnDTPD ≫ ZnEDTA > ZnEDDHA > $ZnSO_4$ > Zn Rayplex.



الشكل (3) تأثير المركبات الخلبية المختلفة المضافة بطريقة الجور في تربة كلسية على كمية الزنك الممتصة بواسطة محصول الذرة الصفراء .

ZnDTPA, Zinc diethylenetriaminepentaacetate; ZnEDTA, Zinc ethylenediaminetetraacetate; ZnEDDHA, Zinc ethylenedia-aminedi (o-hydroxyphenylacetate).

وقد أشار (Lindsay, 1972) الى عدم وجود اختلاف بين ZnEDTA و ZnDTPA في حدود pH من 6 الى 7 . أما المصدر ZnEDDHA فإنه يعتبر من المصادر الفقيرة في الزنك (9% تقريباً) كما انه يعتبر مصدراً غير مستقر في التربة (Lindsay et al. 1967) . اما المصدر Zn-Ray plex فإنه سريع التحلل في التربة مما يؤدي الى زيادة تدهور الزنك .

إن لخصائص التربة تأثيراً هاماً في اختيار نوع السماد وطريقة اضافته . ففي الترب الرملية يفضل اضافة اسمدة الزنك بطريقة الرش وذلك لتقليل الكمية التي ستفقد بالغسل ، خصوصاً عند استعمال الاسمدة المعدنية مثل كبريتات الزنك لكونه سماداً عالي الذوبان بالماء ، وكذلك في الترب القاعدية بقدرتها على التثبيت العالي ، لذا يفضل اختيار المركبات المخلبية في الترب القاعدية والكلسية . ويجب الحذر في اختيار نوع السماد المناسب للاراضي المزروعة بالرز ، فسماد كبريتات الزنك يعتبر من الاسمدة غير المناسبة لمثل هذه الاراضي وذلك لتكوين غاز H_2S السام بفعل تحول ايونات الكبريتات في الظروف اللاهوائية . ولهذا فإن سماد ZnO يعتبر اكثر كفاءة من سماد كبريتات الزنك على الرغم من كون الاول أقل ذوباناً وجاهزية . وقد أيد (Randhawa et al, 1978) هذه الفكرة بعد أن اجرى عدة تجارب في حقول الرز على كفاءة الاسمدة الحاوية على زنك .

يضاف الزنك للترب بمعدل 50-100 كغم زنك لكل هكتار . وقد يضاف الزنك لمختلف الترب والحاصيل ويساهم في زيادة الانتاج (جدول 2) . ولابد من الاشارة الى وفرة عدد من اسمدة الزنك المختلفة بمحتواها وخصائصها وتأثيراتها على الترب المضافة (جدول 3) .

جدول (2) تأثير اضافة الزنك على انتاجية حبوب الحنطة (. Serry 1974 . (et al

المعاملة	تربة كلسية	تربه طينيه
	« طن / هكتار »	
NPK	4.21	1.49
NPK + $ZnSO_4$ (أضيف بطريقة الرش)	4.67	1.54
NPK + 24 كغم $ZnSO_4$ / هكتار (اضيف للتربة مباشرة)	4.68	1.86
NPK + 48 كغم $ZnSO_2$ / هكتار (أضيف للتربة مباشرة)	4.62	2.09

جدول (3) مصادر اسمدة الزنك (Mortvedt et al. 1972) .

المصدر	الصيغة	محتوى الزنك Zn%
كبريتات الزنك احادية الماء	$ZnSO_4 . H_2O$	35
كبريتات الزنك سداسية الماء	$ZnSO_4 . 6H_2O$	23
اوكسيد الزنك	ZnO	78
كاربونات الزنك	$ZnCO_3$	52
كبريتيد الزنك	ZnS	67
فوسفات الزنك	$Zn_3(PO_4)_2$	51
الزنك المخلبي	Na_2Zn EDTA	14
	NaZn NTA	13
	NaZn HEDTA	9

2- النحاس Cupper

يعتبر عنصر النحاس من العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات التي يحتاجها بكميات قليلة بالمقارنة مع عناصر غذائية اخرى يحتاجها النبات بكميات اكبر مثل النايتروجين والبوتاسيوم وغيرها . يتواجد النحاس بصور متعددة ومختلفة في مدى جاهزيتها للنبات . وسنحاول في هذا الجزء دراسة السلوك الكيمياوي لعنصر النحاس في التربة وعلاقة ذلك بالانتاج الزراعي مع بيان اعراض النقص وكيفية المعالجة باستخدام الاسمدة المختلفة .

النحاس في التربة

يتواجد النحاس في التربة بكميات قليلة فقد ذكر (Bear. 1965) إن معدل ما تحتويه القشرة الارضية من النحاس يقدر بـ (70) جزءاً في المليون . ونظراً لدخول عنصر النحاس في التركيب البنائي للصخور فإن محتوى الترب الكلي من هذا العنصر يختلف وفقاً لطبيعة مادة الأصل . وقد أشار كل من (. 1964 Kovda (Wodephl & Turekian. 1961) الى أن الصخور النارية كالبازلت والدوليرايت Dolerite تحوي على 100-200 جزء بالمليون في حين تحوي الصخور الحامضية كالـ Rehyolite والكرانيت Granite على 10-20 جزءا في المليون

أما الصخور المتحولة كالشست Schist وبعض الصخور الرسوبية كالطين والـ Limestone, Sandstone فتراوحت كمية النحاس مابين 10-15 جزءاً في المليون . وقد ذكر (Bear, 1965) إن ما يحويه البلاجوكليس 40 جزءاً في المليون والبايروكسين 35 جزءاً بالمليون والاولفين 30 جزءاً في المليون .

يوجد النحاس في الطبيعة بصورة معدن نقي فقد ذكر (Sanchalli, 1969) بأن هنالك مجموعتين رئيسيتين من المعادن الحاوية على النحاس وهي : —

1- معادن كبريتيدية **Sulfideores** وتشمل :

Chalcite (Cu_2S); Chalcopyrite ($CuFeS_2$), Covelite (CuS)

2- معادن الاكاسيد النحاسية وتشمل

Cuprite (Cu_2O); Malchite ($CuCO_3$); Tenorite (CuO); Cupric ferrite ($CuFe_2O_4$); $Cu_3(OH)_2\ (CO_3)_2$ Azurite.

وعموماً فإن محتوى الترب يختلف من تربة الى اخرى فقد ذكر (Black, 1965)بأن محتوى النحاس الكلي في الترب التي تعاني من نقص النحاس يتراوح من 1-3 جزء في المليون ويصل الى 200 جزء في المليون في ترب أخرى . كما اكدت الابحاث التي اجريت على ترب مختلفة النسجة ان محتوى النحاس الكلي يزداد مع زيادة محتوى الغرين والطين (Agrawal & Motiramant, 1966) . فقد ذكر (Jammal, 1980) إن كمية النحاس الكلي في الترب العراقية تراوحت بين 23.5-54 جزء في المليون .

ويعتبر الجزء العضوي من التربة مصدراً هاماً لتجهيز التربة بعنصر النحاس إذ يرتبط هذا العنصر مع المادة العضوية مكوناً معقدات غير ذائبة . لذا يمكن اعتبار المادة العضوية العامل الرئيسي المؤثر على حركة النحاس وتجمعه في التربة .

صور النحاس في التربة

سنحاول مناقشة السلوك الكيمياوي لصور النحاس في التربة مع بيان تأثير ذلك على جاهزيته للنبات . يوجد عنصر النحاس بصور مختلفة هي :

أ ـ النحاس في الحيز غير المستقر

وهو يشمل الجزء الموجود في التركيب البلوري لمعادن التربة وكذلك الداخل ضمن مركبات النحاس المختلفة . كما أن النحاس المرتبط بواسطة اكاسيد التربة

الذي لا يمكن استخلاصه بالمستخلصات الاعتيادية والذي يطلق عليه بالنحاس غير المتحرك بالتربة يصنف ضمن مجموعة النحاس في الحيز غير المستقر .

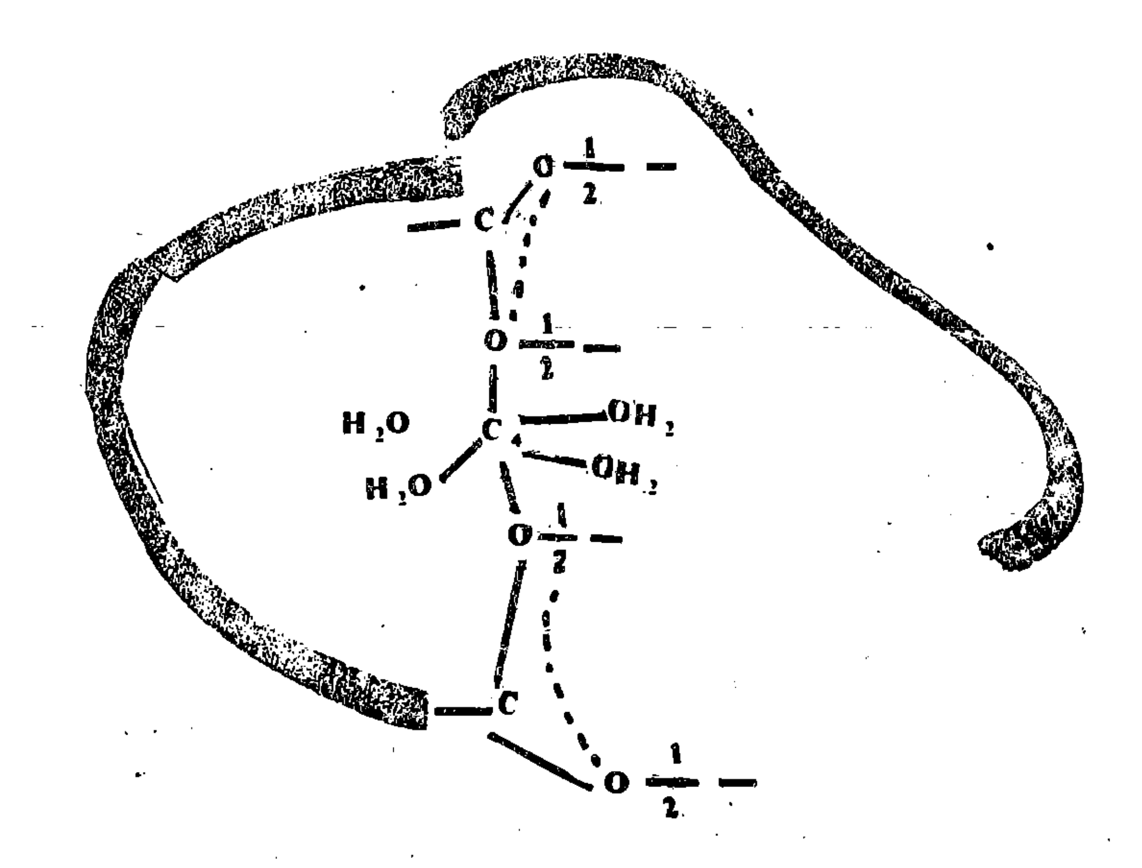
ب ــ النحاس المتبادل والممدص

يرتبط النحاس بمواقع التبادل الايوني لذا يطلق على هذا الجزء بالنحاس المتبادل . والصور السائدة الارتباط هي ايون Cu^{+2} وايون $CuOH^{+}$ وغالباً مايوصف هذا الجزء بانه جاهز للنبات . وقد أشار كل من (Jackson, Menzel & 1951) بأن كمية Cu الممدص بواسطة معدن المونتموريلونايت تفوق حدود السعة التبادلية الكايتونية للمعدن في ظروف pH تربة متعادلة أو قلوية . وقد عزا (Bingham et al., 1964) سبب وجود زيادة في كمية Cu الممدصة الى ترسيب تلك الزيادة بهيئة هايدروكسيدات أو كما ادعى (Misra & 1966, Tiwari)بأن الترسيب يكون على هيئة hydroxycarbonates . وقد اشار (McBride, 1978) الى أن النحاس يمدص بواسطة اكاسيد الالمنيوم وإن قوة الربط قوية جداً مما قد يعرقل تحرره وجاهزيته للنبات .

جـ النحاس المرتبط مع المادة العضوية

لقد اشار (Hodgson et al. 1966) الى أن اكثر من 98% من النحاس الذائب في محلول التربة يرتبط مع المادة العضوية مكوناً معقدات ثابتة .

في حين اكد (Broadbent & Bradford, 1952) ان النحاس يرتبط مع المادة العضوية من خلال الجاميع الكاربوكسيلية والفينولية مكوناً معقداً هو Copper-organic matter Complexe في حين اوضح كل من (DeMumbrun & Jackson, 1956) بأن النحاس يرتبط مع المادة العضوية من خلال الجاميع الهايذروكسيلية . وقد بين (Hodgson et al., 1966) ان ارتباط النحاس مع حوامض الفولفيك . يكون معقدات ذائبة في حين أشار (Stevenson & Ardakani, 1972) الى ان ارتباط النحاس مع حوامض الدباليك humic acid يكون معقدات غير ذائبة . وقد وصف (McBride, 1978) ارتباط النحاس مع الجاميع الكاربوكسيلية للمادة العضوية بالشكل التالي



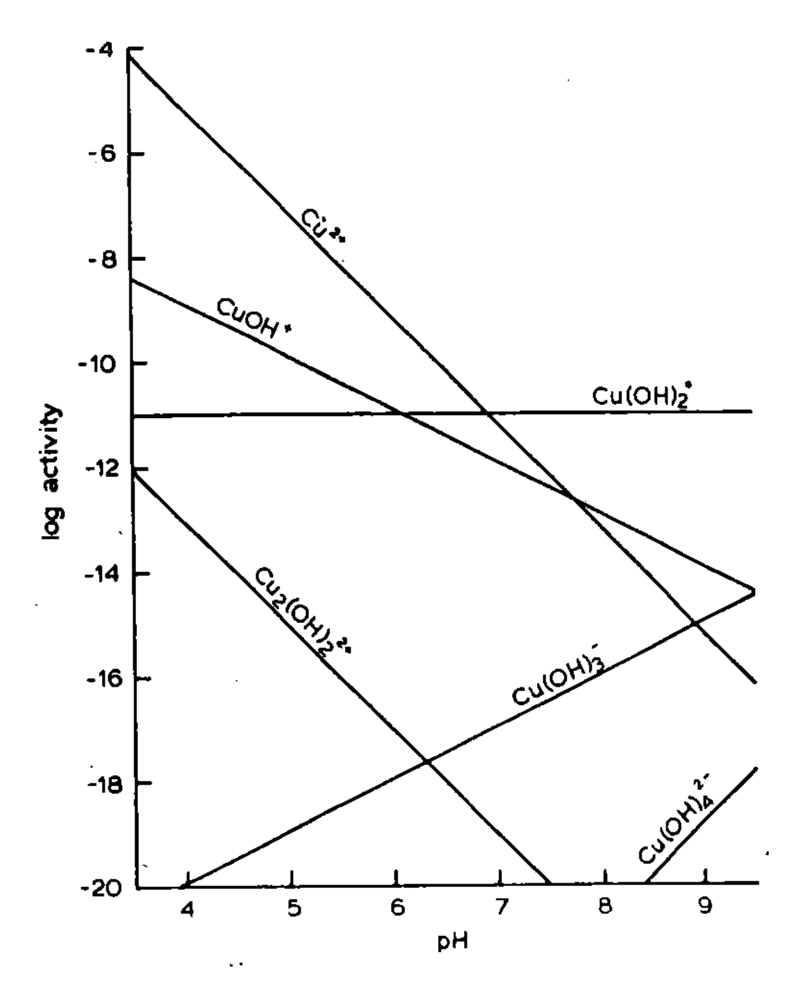
د ـ النحاس الذائب بمحلول التربة

إن تركيز النحاس في محلول التربة قليل جدا ويقع بحدود 1×10^{-8} الى 60×10^{-8} مول/ لتر . وتعتبر الصورة الايونية Cu^{2+} اكثر الصور استقراراً وسيادة في حدود pH اقل من 7 . في حين تكون السيادة للصورة $CuOH^{+}$ في محلول التربة عند pH اعلى من 7 . اما الصور الإيونية $Cu_2(OH)_2^{2+}$ و $Cu(OH)_3^{-}$ فإن تركيزها قليل جداً وتشكل جزءا يسيراً من التركيز الكلي الذائب في محلول التربة (الشكل 1) .

العوامل التي تؤثر على جاهزية النحاس

1- تأثير درجة حموضة التربة (Soil pH)

تتأثر جاهزية النحاس للنبات بدرجة حموضة التربة (pH) اذ اشار (Lindsay 1979) الى ان ارتفاع pH التربة وحدة واحدة عما يكن عليه فان تركيز النحاس في محلول التربة يقل بما يعادل 100 مرة وقد وصف هذه العلاقة من خلال المعادلات التالية :



الشكل (1) العلاقة بين **pH** الوسط وتركيز صور النحاس الذائبة في محلول التربة . (Lindsay, 1979)

$$Cu^{2+} + 2H\text{-}Soil \rightleftharpoons Cu\text{-}Soil + 2H^{+} \quad \log K'' = 2.8$$

$$\frac{[H^{+}]^{2}}{[Cu^{+2}]} = K$$

$$[Cu^{2+}] = 10^{-2.8}\,[H^{+}]$$

ولو افترضنا ان pH الوسط يساوي (7) فان

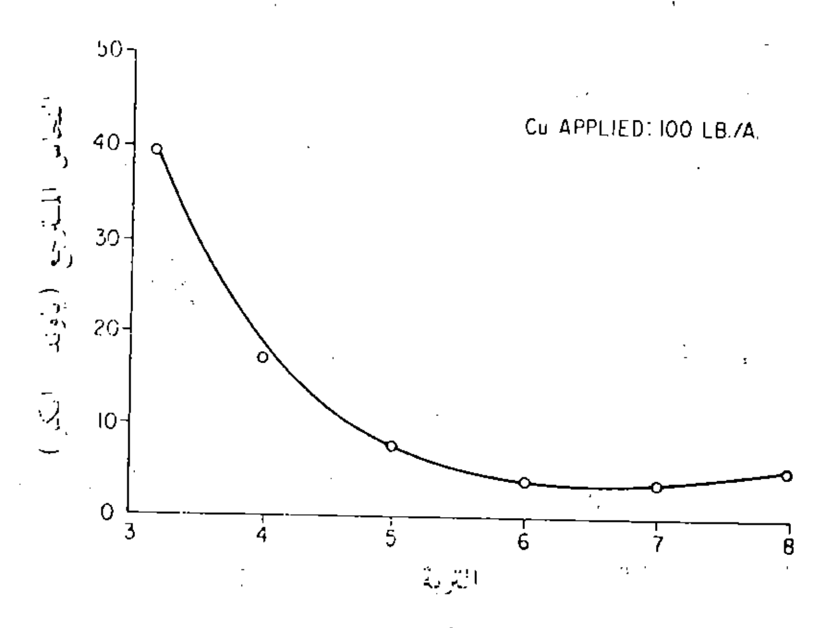
$[Cu^{+2}] = 10^{-16.8}$ مول / لتر

اما عندما يكون pH الوسط مساوياً الى (8) فان

$[Cu^{+2}] = 10^{-18.8}$ مول / لتر

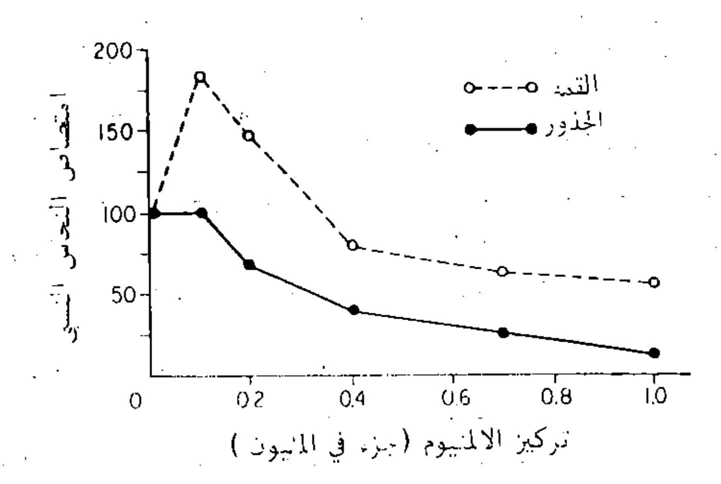
وهذا يعني أن ارتفاع قيمة pH التربة من 7 الى 8 قد ادى الى انخفاض التركيز بما يعادل 100 مرة عما كان عليه .

وقد درس (Peech, 1941) العلاقة بين pH التربة وكمية النحاس المتبادل في تربة رملية وقد وجد (الشكل 2) أن ارتفاع pH التربة يؤدي الى انخفاض كمية النحاس المتبادل في التربة مما يعني ايضاً انخفاض في جاهزية النحاس للنبات . وقد اشار كل من (Neelakantan & Metha, 1961) الى ان جاهزية النحاس تقل في الترب الكلسية وقد اكد (Gibert, 1952) ان نقص النحاس يكون سائداً في الترب الكلسية والقاعدية اذ تمتاز مركبات النحاس ايضاً بقابلية للذوبان قليلة جداً . وقد حصل (Damaty, 1973) وكذلك (Atlavina, 1965) على علاقة ارتباط سالبة بين درجة حموضة التربة والنحاس الجاهز .



الشكل (2) تأثير pH التربة على جاهزية النحاس (Peech, 1941) .

لقد اشار (Troug, 1946) الى ان جاهزية النحاس تقل وبشكل معنوي في الظروف الشديدة الحموضة . وقد أوضح (Blevins et al. 1959) سبب ذلك من خلال تأثير التركيز العالي من ايون الالمنيوم على قدرة النبات من امتصاص النحاس . فقد لاحظوا ان زيادة تركيز ايون الالمنيوم عن 0.1 جزء في المليون ادى الى انخفاض ملحوظ في قدرة نبات الحنطة على امتصاص النحاس (الشكل 3) . وقد يعني هذا ان ارتفاع pH التربة يؤثر سلباً على نشاط ايون النحاس في محلول التربة ولكن انخفاض pH التربة قد يؤثر ايضا على جاهزية النحاس من خلال زيادة تركيز ايون الالمنيوم .



الشكل (3) العلاقة بين تركيز الالمنيوم في المحلول الغذائي والكمية الممتصة من النحاس من قبل محصول الحنطة .

2- تأثير كاربونات الكالسيوم

أشار العديد من الباحثين الى ان وجود كاربونات الكالسيوم له تأثير سلبي على جاهزية النحاس . فقد اشار (Misra & Tiwari, 1966) الى ان وجود الكلس او اضافته الى الترب الرملية قلل من سمية النحاس المضاف في الجرعات الاعتيادية للمبيدات الحشرية او الفطرية . وقد أوضح (Mitchell, 1966) ان محتوى الترب الكلسية من النحاس يكون ضئيلاً حتى بوجود نسبة عالية من المادة العضوية وقد يرجع سبب ذلك الى تأثير المادة الكلسية في رفع pH التربة وترسيب النحاس بصورة كاربونات النحاس .

تحتفظ الترب القاعدية والكلسية غالباً بصورٍ مترسبة من مركبات النحاس بهيئة كاربونات النحاس ($CuCO_3$) وهيدروكسيدات النحاس [$Cu(OH)_2$] .

3- تأثير المادة العضوية

تلعب المادة العضوية دوراً كبيراً في جاهزية النحاس فقد سبق ان اشرنا في هذا الفصل الى طبيعة التداخل بين المادة العضوية والنحاس وتأثير ذلك على جاهزية للنبات . فقد يرتبط النحاس مع مكونات الدبال ليكون معقدات ذائبة مع حوامض الفولفيك ومعقدات غير ذائبة مع حوامض الدباليك . وتتأثر جاهزية

النحاس غالباً بوجود المادة العضوية من خلال تكوين معقدات غير ذائبة . فقد اشار (Akinola, 1971) الى وجود علاقة ارتباط سالبة معنوية بين المادة العضوية ومحتوى النحاس الجاهز . وقد بين كل من (Ennis & Bogan, 1961) ان المادة العضوية تمسك النحاس بقوة . إذ ان طبيعة الارتباط تؤثر على جاهزية هذا العنصر لنبات الشوفان . وقد اشار (Mercer & Richmond, 1970) الى ان جاهزية النحاس تتأثر بوجود المادة العضوية وان معقدات النحاس العضوية ذات الوزن الجزيئي اقل من 100 تمتاز بجاهزيتها العالية للنبات مقارنة مع معقدات النحاس ذات الوزن الجزيئي العالي (اكثر من 5000) .

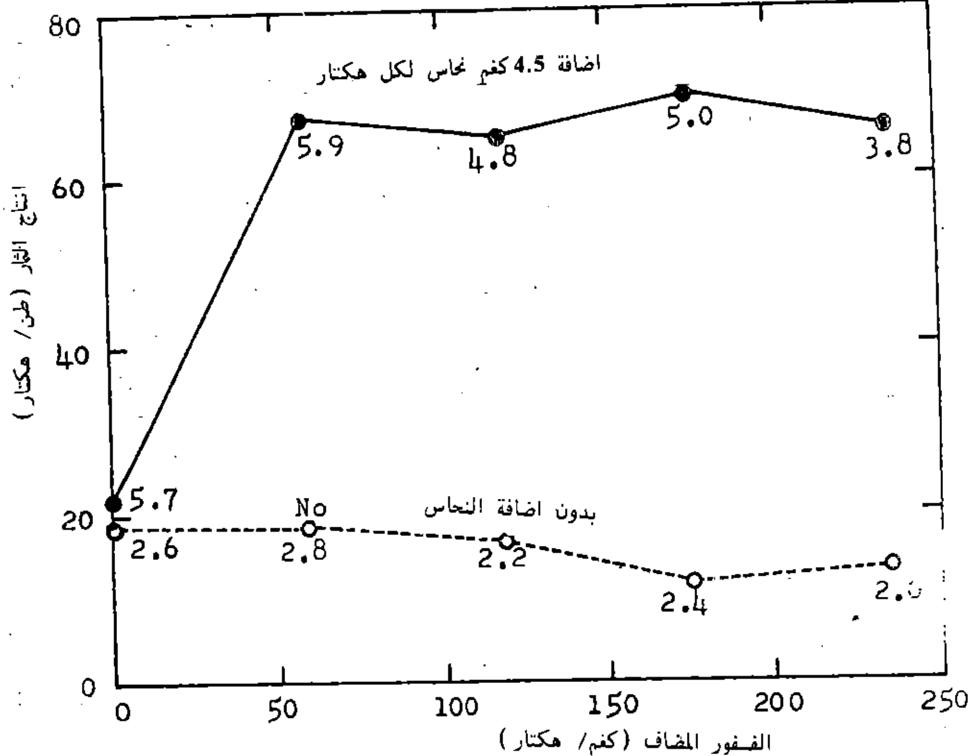
4- تأثير معادن الطين

سبق ان اوضحنا قدرة معادن الطين على امدصاص النحاس بصورة Cu^{2+} و $Cu(OH)^{+}$ ولابد من ايضاح تأثير نوع وكمية معادن الطين على جاهزية النحاس . فقد استخدم (Fawzy & Hassan, 1975) معادن مختلفة هي الفيرمايكولايت والايلاليت والجبسايت والبنتونايت والاتوبلكايت لدراسة امدصاص النحاس المضاف بهيئة محاليل مخففة من كبريتات النحاس . فقد اشارت النتائج الى ان امدصاص النحاس قد ازداد مع ارتفاع pH محلول الاتزان . في مابين (Mitchel, 1965) ان قدرة معدن المونتموريلونايت على امدصاص النحاس اكبر من قدرة معدن المايكا وقد يعزى سبب ذلك لظاهرة الاحلال المتماثل Isomorphous subsitution في طبقة الاوكتاهيدرا Octahedral layer لمعدن المونتموريلونايت بين النحاس وبقية العناصر الصغرى . ومن هنا يمكن القول ان زيادة محتوى التربة من الطين وبالأخص معدن المونتموريلونايت يؤدي الى زيادة محتوى التربة من النحاس . لذا فقد اشار (Gilbert, 1952) الى أن نقص النحاس شائع في الترب الرملية وكذلك حصل (Neelakontan & Mehta, 1961) على علاقة ارتباط موجبة بين النحاس الجاهز ونسبة الطين . بينما اكد (Mitchel, 1965) ان انخفاض محتوى الترب الكلسية بالنحاس قد يعزى ايضاً الى قلة محتوى الطين والمادة العضوية . وفي دراسة قام بها (Jammal, 1980) على السلوك الكيمياوي للنحاس في الترب العراقية وجد علاقة احصائية عالية المعنوية بين النحاس الكلي وكل من الطين ونسبة الغرين + الطين وبمعامل ارتباط ($r = 0.504^{**}$) و ($r = 0.425^{**}$) على التوالي ، وعلاقة سالبة عالية المعنوية بين محتوى التربة من النحاس ونسبة الرمل بمعامل ارتباط ($r = 40.3^{**}$) .

6- تاثير التداخل الأيوني

من العناصر الغذائية التي تتداخل مع النحاس وتؤثر سلباً على جاهزيته هو عنصر الفسفور ، ويمكن القول بان اضافة الفسفور يؤدي الى نقص في كمية النحاس

المتصة من قبل النباتات خصوصاً عند أضافة تراكيز عالية . وقد فسر (Bingham & Garbon, 1960) النقص في النحاس الى تفاعلات مباشرة بين الفسفور والنحاس ادت الى تكوين مركبات مترسبة خارج الجذر مما عرقلت قابلية الامتصاص . وقد اكد كل من (Jurinak & Inouye, 1962) تكوين تلك المركبات المترسبة بعد أن أجريا تسحيحاً لنظام يحوي على ايونات النحاس مع هايدروكسيد الصوديوم بوجود كميات مختلفة من فوسفات البوتاسيوم الثنائية الهايدروجين (KH_2PO_4) . وقد اشار (Badunur, 1972) الى ان اضافة الفسفور بمستويات مختلفة ادت الى خفض كبير في الكمية الجاهزة من النحاس . ولاحظ (Bingham) إنخفاض في تركيز النحاس في اوراق الحمضيات وذلك عند اضافة مقادير مختلفة من فوسفات احادي الكالسيوم . وتؤكد نتائج التجربة التي قام بها (Locascio et al., 1968) ان اضافة مستويات مختلفة من الفسفور يؤدي الى انخفاض ملحوظ في تركيز النحاس في انسجة النبات وان اضافة النحاس يعمل على زيادة الانتاج بالمقارنة مع حجب النحاس (الشكل 4) .



الشكل (4) انتاج البطيخ المزروع في تربة رملية عوملت بمستويات مختلفة من الفسفور بهيئة سوبرفوسفات مركز عند اضافة او عدم اضافة مستوى ثابت من النحاس بهيئة كبريتات النحاس . الارقام المثبتة على خطوط الشكل تمثل تركيز النحاس في انسجة اوراق النبات الحديثة التكوين بوحدة ملغرام نحاس لكل غرام مادة جافة (Locascio et al., 1968) .

إن اضافة النحاس الى التربة غالباً ماتؤدي الى عرقلة امتصاص الحديد . فقد اشار (Brown & Holms, 1955) الى أن نقص النحاس ادى الى تراكم الحديد في نبات الذرة الصفراء .

أما تأثير المولبيدنيوم على النحاس فقد درس من قبل (Gupta & Metita, 1979) وقد لوحظ ان اضافات المولبيدنيوم تؤدي الى نقصان تركيز النحاس والمنغنيز والحديد في نبات البرسيم المزروع في تربة أحدها ملحية واخرى غير ملحية . كذلك أشار الى انخفاض نسبة Cu في البرسيم بسبب الاضافات المولبيداتية بينما تؤدي اضافة الكبريت الى رفع نسبة $\frac{Cu}{Mo}$ في النبات .

النحاس ونمو النبات

يعتبر النحاس من العناصر الغذائية المهمة في تغذية النبات . ويعتبر (Sommer, 1931) اول من اشار الى اهميته للنبات وذلك من خلال تجاربه على محاصيل البطاطا وعباد الشمس والكتان . وفي نفس الوقت وجد كل من (Mackinney & Lipman, 1931) بان اضافة (1) جزء في المليون نحاس ادت الى تحسين نمو الشعير بالمقارنة مع المعاملات التي حجب عنها النحاس .

يمتص عنصر النحاس من قبل النبات بهيئة ايونية (Cu^{2+}) ويدخل هذا العنصر ضمن العديد من العمليات الفسيولوجية . فقد ذكر (Arnon, 1950) من خلال المصادر التي حصل عليها بأن عنصر النحاس يدخل ضمن عملية التركيب الضوئي وكذلك يعتبر جزءاً مكملاً لانزيم Cytochromoxidese وقد حدد كل من (Robert, 1971, Pillai, 1966) دور النحاس في النبات بانه يساهم في النشاط الأنزيمي وكذلك يدخل في مكونات بعض الانزيمات مثل : --

1- Ascorbic acid oxidase
2- Catachole oxidase
3- Laccase
4- Thirosinase
5- Monophenoloxidase

ويعتبر عنصر النحاس احد مكونات الكلوروفيل ويعتبر عنصراً فعالاً في عمليات الاكسدة والأختزال في خلايا النبات كذلك يؤثر على تبادل الكاربوهيدرات والبروتينات ويزيد مقاومة النبات ضد الامراض الفطرية (Boardman, 1975) . وقد اشار (Hallsworth et al. 1960) الى احتياج

البكتريا المثبتة للنايتروجين الجوي الى عنصر النحاس وان تكوين العقد الجذرية تتأثر عند وجود المستوى الواطيء من النحاس .

يمتص عنصر النحاس بكمية قليلة من قبل مختلف الحاصيل الزراعية . لذا فان المحتوى الكلي للنحاس في انسجة النبات عادة لاتزيد عن (10) جزء في المليون . وتحتوي معظم الترب غالباً على كمية كافية من النحاس الجاهز لو أستثنينا الترب الرملية والعضوية وذات المحتوى الكلي المنخفض من النحاس وكذلك الترب الكلسية . وان اضافة النحاس لمعالجة النقص يؤدي الى زيادة الانتاج ، فقد استنتج كل من الباحثين (Scharrer & Schaumloffel, 1960) ان اضافة سماد كبريتات النحاس ادى الى زيادة انتاجية الحبوب في محصول الشوفان (جدول 1) اذن لابد من معرفة الكمية الجاهزة من النحاس والحدود المطلوبة من قبل المحصول المزروع وكذلك اختيار افضل السبل في معالجة النقص .

جدول (1) تاثير اضافة النحاس على انتاج الشوفان المزروع في ارض تعاني من النقص لهذا العنصر .

كمية النحاس المضافة ملغم نحاس / كغم تربة	القس غم / سندان	الحبوب غم / سندان
بدون اضافة	72.6	29.6
1.2	57.0	56.7
8.3	58.4	57.7

اعراض نقص النحاس واسلوب المعالجة

لا يمكن اعتبار عنصر النحاس متحركاً داخل النبات على الرغم من انتقاله احياناً من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة.. فقد لاحظ (Loneragan, 1975) ان حركة النحاس في النبات تعتمد على محتوى النبات الكلي من هذا العنصر . ووجد ان إضافة النحاس الى نباتات الحنطة قد شجع هذا العنصر للحركة من الاوراق الى البذور في حين سلك النحاس كعنصر غير متحرك في النباتات التي تعاني من النقص . وبشكل عام فان اعراض نقص النحاس عبارة عن تحول لون قمة الاوراق الى لون ابيض . صغر في حجم الورقة . قصر النبات

وكذلك قصر المسافة بين العقد وتساقط الازهار . وان الحد المطلوب للنحاس الذي يمثل الاحتياج الأمثل لمختلف المحاصيل يقع بين 2-20 جزءاً في المليون نحاس في المادة الجافة . وان الحد الحرج Critical level في النبات يقع بين 2.5-3.0 جزء في المليون وان الحد الحرج للكمية الجاهزة للنحاس بالتربة تقع بحدود 0.2 جزء في المليون نحاس .

يعالج نقص النحاس بعد تقدير المحتوى الجاهز منه بالتربة وتحديد الكمية المطلوبة لنمو المحاصيل الزراعية ، باضافة اسمدة النحاس المختلفة المعدنية او المخلبية . ولابد لنا من التأكيد على اهمية معرفة المحتوى الجاهز المسبق لاضافة الاسمدة وذلك تجنباً للاضافات الزائدة التي تسبب السمية والضرر . فقد حدد (Henkens, 1965) ان وجود (4) جزء في المليون نحاس جاهز في التربة يكفي لنمو جيد لمحاصيل الحبوب المختلفة . وبشكل عام فان النحاس يضاف بمعدل 1-10 كغم نحاس/ هكتار لمعالجة النقص في مختلف التربة . وتستخدم اسمدة النحاس المبينة في (جدول 2) الى التربة مباشرة او قد تضاف بطريقة الرش وفقاً لما موضح .

جدول (2) اسمدة النحاس والكمية المقترح اضافتها

السماد	محتوى النحاس (%)	معدل اضافة النحاس المقترحة: نثرا	جور	رش
$CuSO_4 . 5H_2O$	25	3-6	1.4-4.5	يضاف بمعدل
$CuSO_4 . H_2O$	35	3-6	1.4-4.5	90 غرام لكل 100 لتر ماء حيث
Cu_2O	89	3-6	1.1-4.5	تناسب هذه الكمية
CuO	75	3-6	1.1-4.5	اشجار الحمضيات
$Na_2CuEDTA$	13	0.8-2.4	0.2-0.8	
NaCu-HEDTA	9	0.8-2.4	0.2-0.8	

ان لخصائص التربة وخصائص السماد دوراً هاماً في تحديد الكمية السمادية المطلوب اضافتها وطريقة الاضافة . ففي الترب الكلسية يفضل اضافة الاسمدة المخلبية لقدرتها على المحافظة على النحاس بصورة جاهزة وبعيدة عن تأثيرات الوسط . وغالباً مايفضل استخدام سماد كبريتات النحاس المائية $(CuSO_4 . 5H_2O)$ ليضاف بطريقة الرش لذوبانه العالي بالماء .

3- المنغنيز Manganese

يعتبر عنصر المنغنيز من العناصر الغذائية الصغرى التي يحتاجها النبات لاكمال دورة حياته . يوجد هذا العنصر بصورة متعددة بالتربة سنحاول دراستها مع مناقشة تأثير خصائص التربة المختلفة على صور المنغنيز في التربة وكذلك جاهزيته وامتصاصه من قبل مختلف الحاصيل الزراعية . كما سنحاول دراسة اعراض النقص واسلوب معالجته .

المنغنيز في التربة

يكون عنصر المنغنيز حوالي 0.08% من المحتوى الكلي لتركيب القشرة الارضية . وقد اشار (Goldschmidt, 1954) الى أن متوسط تركيز المنغنيز في القشرة الارضية يقع بحدود (1000) جزء في المليون . ونظراً لوجوده في صور عديدة فهو يوجد في المعادن الاولية مثل مجموعة معادن الميكا والاوليفين . فقد بين (Mitchell, 1964) محتوى الصخور النارية من المنغنيز يقع بين (80-1820) جزء في المليون واكد انه ينتشر في مختلف المعادن الاولية المكونة للصخور . اما في الصخور الرسوبية فهو يوجد بوفرة في الحجر الكلسي limestone وفي بعض المعادن الثانوية . ولهذا فإن محتوى الترب من المنغنيز يختلف وفقاً لمحتواها من المعادن الحاوية عليه . فقد اشار (Sauchelli, 1969) الى أن محتوى بعض الترب من المنغنيز قد يصل الى 0.02% في حين كان محتوى بعض النماذج (0.13-0.01%) وقد وصل محتوى نماذج أخرى الى 15% . وقد أشار (Swaine, 1955) الى أن محتوى معظم الترب الزراعية من المنغنيز الكلي يقع بحدود (%0.3-0.02) .

بالاضافة الى انتشار المنغنيز في معادن التربة المختلفة فإنه يوجد بصورة مركبات معدنية مختلفة بعضها يرتبط بالاوكسجين والبعض الآخر بثاني اوكسيد الكاربون أو بأوكسيد السيليكون كما حددها (Krauskopf, 1972) وهي :

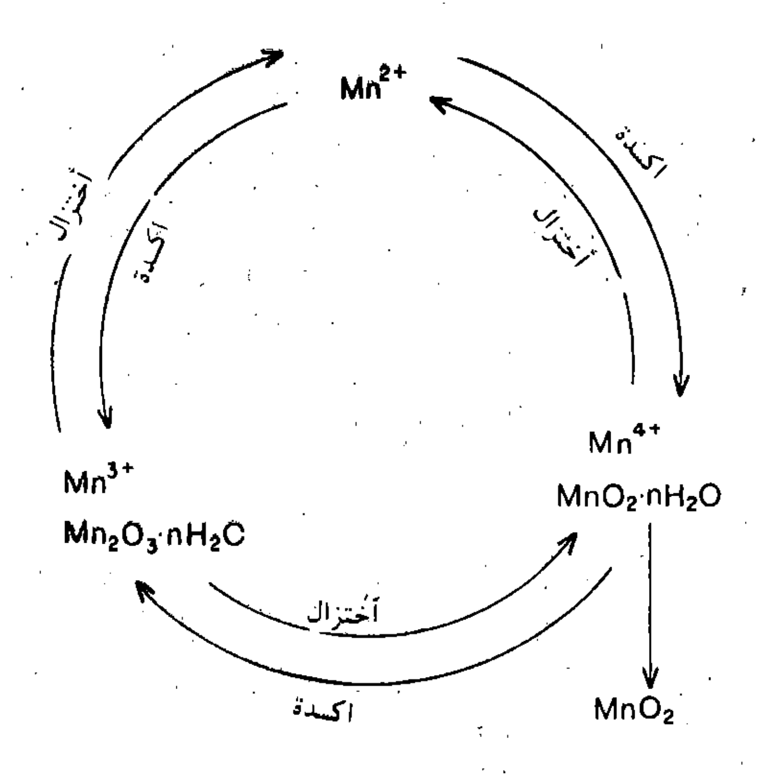
1- Pyrolusite MnO_2
2- Hausmannite Mn_3O_4
3- Manganite MnOOH
4- Rhodochrosite $MnCO_3$
5- Rhodonite $MnSiO_3$

صور المنغنيز بالتربة

يوجد المنغنيز في التربة في ثلاث حالات من التكافؤ هي : -

1- المنغنيز الثنائي (Mn^{2+}) التكافؤ

الذي يوجد ذائباً في محلول التربة أو قد يحتل بعض مواقع الاميدصاص على سطح غرويات التربة أو يتحد مع المادة العضوية ليكون معقدات عضوية للمنغنيز. وتعتبر هذه الحالة من أهم حالات المنغنيز بالتربة لكونها الصورة المناسبة للامتصاص من قبل النبات وقد يطلق عليها بالصورة النشطة وترتبط بعلاقة توازن مع حالات التكافؤ الاخرى والتي تحكمها عمليات الاكسدة والاختزال Oxidation-reduction processes التي أوضحها (Dion & Mann, 1946) واطلق عليها بدورة المنغنيز في التربة (الشكل 1).



الشكل (1) دورة المنغنيز في التربة وفقا لظروف الاكسدة والأختزال (Dion & Mann, 1946).

2- المنغنيز الثلاثي (Mn^{3+}) التكافؤ

ويوجد بصورة نشطة جداً وعلى هيئة اوكسيد المنغنيز Mn_2O_3 ويشكل جزءاً حيوياً في دورة المنغنيز في التربة التي سبق أن أشرنا اليها .

3- المنغنيز الرباعي (Mn^{4+}) التكافؤ

يوجد المنغنيز بحالة رباعي التكافؤ بهيئة صور خاملة من اوكسيد المنغنيز MnO_2 وهو ايضاً يرتبط في حلقات دورة المنغنيز في التربة .

إن حالة التوازن بين هذه الحالات الثلاث تحدد الكمية النشطة والذائبة في محلول التربة . وتعتبر كمية المنغيز الثنائي التكافؤ مهمة جداً لعلاقتها المباشرة بتغذية النبات . وإن دراسة السلوك الكيمياوي لهذه الصورة والعوامل التي تؤثر عليها من خلال تأثيرها على جميع عناصر الدورة يعدُّ امراً هاماً في معرفة جاهزية المنغيز للنبات في مختلف التربة . ومن خلال وجود الحالات الثلاث للمنغيز يمكن القول بانه يوجد ايضاً بصورة متعددة في التربة ترتبط وبشكل اساس بالعلاقة الكيمياوية والفيزيوكيمياوية لحالات التكافؤ وظروف التربة .

يوجد المنغيز بصورة ذائبة بمحلول التربة ، وتعتبر حالة التكافؤ الثنائية اكثر الحالات سيادة ونشاطاً . كما انها ترتبط بخصائص التربة المختلفة والتي تحدد الكمية الجاهزة منها للنبات .

كما يرتبط المنغيز مع المادة العضوية ليكون صورة جديدة هي عبارة عن معقدات عضوية للمنغيز . فقد اشار (**Geering et al. 1969**) الى أن المنغيز الذائب في محلول التربة قد يرتبط مع المادة العضوية مما يساهم ذلك في خفض التركيز وتكوين معقدات قد تشكل نسبة تقع بين (39-99%) من المنغيز الكلي الذائب أي بمعدل (70%) . وتساهم الأكاسيد والهايدروكسيدات في تحديد صور المنغيز في التربة من خلال عملية الامدصاص مما تعرقل ايضاً جاهزيته للنبات **(Stumm & Morgn, 1970)** .

وبهذا يمكن القول بأن المنغيز يوجد في الترب بثلاث حالات تكافؤ وبصورة متعددة يمكن ايجازها بالآتي :

(1) المنغيز المعدني ، أي الجزء الداخل في تركيب المعادن المختلفة وكذلك المكون لمركبات المنغيز السائدة بالتربة وتعتبر هذه الصورة غير جاهزة للنبات .

(2) الجزء الممدص من المنغيز ، بواسطة الاكاسيد الحرة وكذلك بواسطة المادة العضوية . ولا يمكن اعتبار هذا الجزء بأنه سريع الجاهزية للنبات بل يكون له التأثير السلبي على جاهزية المنغيز للنبات غالباً .

(3) المنغنيز الذائب في محلول التربة ، وهذه الصورة تمثل الكمية البسيطة من المحتوى الكلي للمنغنيز بالتربة .

إن جميع الصور المذكورة وكذلك حالات التكافؤ تتأثر بعوامل عديدة سنحاول مناقشتها لبيان العلاقة بين السلوك الكيمياوي للمنغنيز بالتربة وجاهزيته للنبات .

العوامل التي تؤثر على جاهزية المنغنيز

1- درجة حموضة التربة (Soil pH)

إن ارتفاع pH التربة يقلل من صلاحية المنغنيز إذ يزيد حالة الأكسدة . فعند pH أعلى من 8 فإن المنغنيز الرباعي هو الاكثر سيادة . وتسود الصورة الثلاثية التكافؤ عند pH مساوياً الى 7 ، اما في الـ pH الحامضي فإن الصورة الثنائية هي الاكثر سيادة . وهذا يعني ان جاهزية المنغنيز في الترب الحامضية عالية جداً وذلك بسبب زيادة ذوبان مركبات المنغنيز المختلفة في الظروف الحامضية . وقد أوضح (Lindsay, 1972) إن المنغنيز الذائب (Mn^{2+}) يقل تركيزه بمعدل 100 مرة عند رفع قيمة الـ pH وحدة واحدة وأن المعادلة التي تصف هذه العلاقة هي :

$$MnO_2 + 2H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 1/2\,O_2 + H_2O$$

$\text{LogK} = -0.92$ الصورة الاكثر استقراراً وثباتاً في التربة

وبعد افتراض ان ضغط الاوكسجين يساوي 0.20 ضغط جوي فإن تركيز المنغنيز عند (pH = 6) سيساوي :

$$[Mn^{2+}] = 10^{-13} \text{ مول / لتر}$$

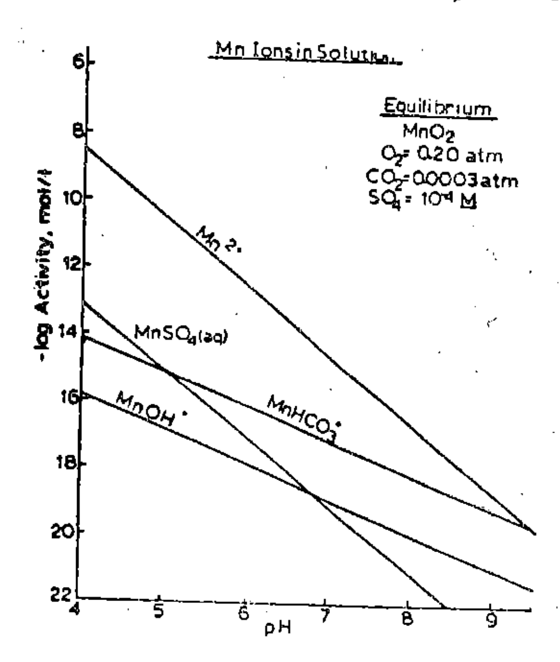
في حين سيساوي تركيز المنغنيز عند (pH = 7) مع ثبات ضغط الاوكسجين الآتي

$$[Mn^{2+}] = 10^{-15} \text{ مول / لتر}$$

وهذا يؤكد انخفاض التركيز بما يعادل 100 مرة عند رفع قيمة الـ pH وحدة واحدة وقد اشار (Mengel & Kirkby, 1982) الى ان كمية المنغنيز الجاهزة في الترب القاعدية التفاعل قليلة جداً ولاتكفي لسد احتياجات النبات . ولـ pH التربة تأثير على طبيعة التداخل بين المادة العضوية والمنغنيز فقد اكدت النتائج التي حصل عليها (Page, 1962) ان ارتفاع pH التربة يشجع تكوين المعقدات العضوية

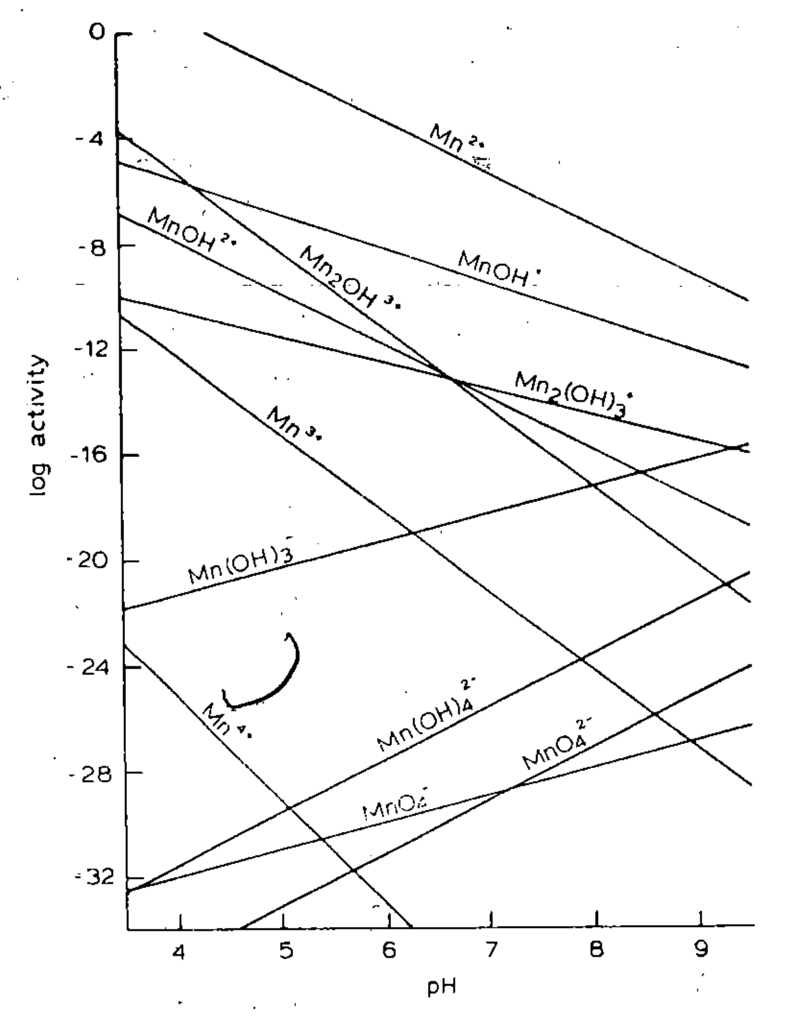
المنغيز بفعل نشاط الاحياء الدقيقة ترتبط مع pH الوسط. وإن اقصى فعل لها يكون عند pH اعلى من (7) . أي أن قاعدية التربة تشجع اكسدة المنغيز الثنائي بفعل احياء التربة الدقيقة مما يقلل ذلك من جاهزيته .

أذن ارتفاع pH التربة له تأثير كبير في خفض تركيز صورة المنغيز الثنائية الذائبة والمتبادلة (جاهزية المنغيز) . وتتأثر ايضاً صور الازدواج الأيوني المختلفة للمنغيز مع تغير pH التربة (الشكل 2) . وهذا يعني انخفاض التركيز الكلي للمنغيز الذائب في محلول التربة مع ارتفاع pH التربة وليس فقط تركيز الصورة الايونية الحرة [Mn^{2+}] . وكذلك فإن اذابة مركبات المنغيز الثنائية والثلاثية والرباعية



الشكل (2) العلاقة بين نشاط الصور الايونية المختلفة من المنغيز و **pH** الوسط .

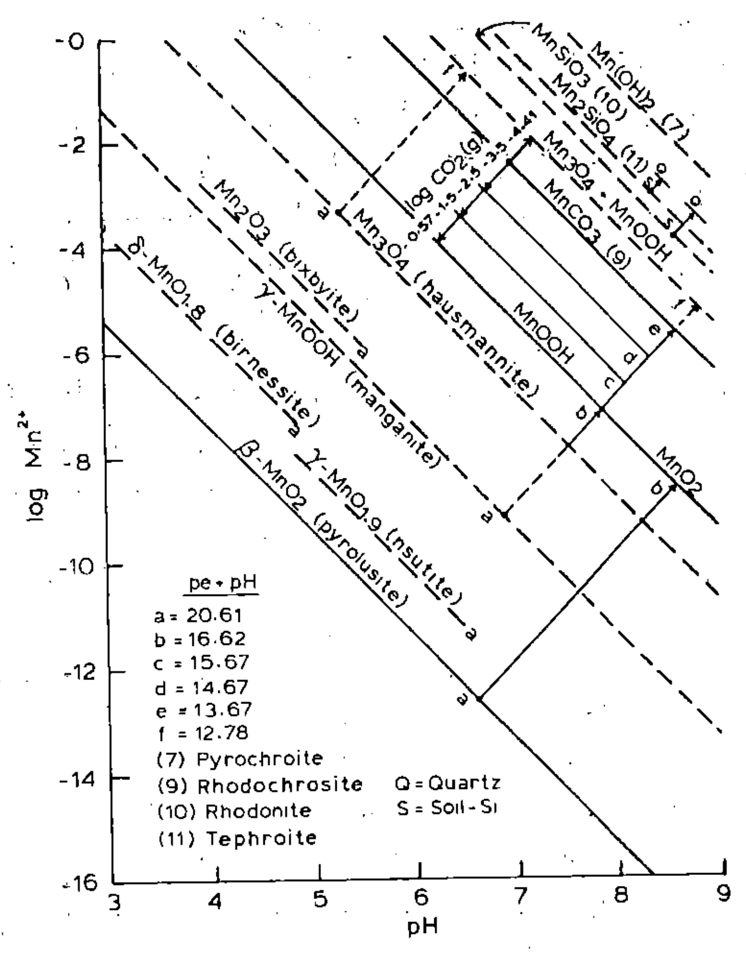
تتأثر بقيمة pH التربة كما يوضح ذلك الشكل (3) . عموماً فإن مركبات المنغيز الثنائية اكثر ذوباناً وقدرة على تحرز المنغيز الثنائي بالمقارنة مع المركبات الاخرى وفي جميع قيم الـ pH ، وإن ذوبان جميع مركبات المنغيز في الوسط الحامضي اعلى من الوسط القاعدي . إن افضل مدى pH لجاهزية المنغيز يقع بحدود (5–6.0) وتقل أو تكاد تنعدم الجاهزية عند pH اعلى من 7.5 . فقد وجد (Gisiger & Hasler, 1949) إن اضافة الكلس للترب الحامضية يؤدي الى خفض جاهزية المنغيز .



الشكل (3) العلاقة بين **pH** الوسط وتركيز صور المنغيز في الوسط

2- تأثير تفاعلات الاكسدة والاختزال

تتأثر جاهزية المنغيز بوفرة الاوكسجين أو غيابه وكذلك النشاط الاليكتروني. ويعتبر المركب MnO_2 (Pyrolusite) اكثر المركبات ثباتاً واستقراراً في ظروف الاكسدة القوية. أي انه السائد عند قيمة pH + pe تساوي 20.61 . ولكن انخفاض قيمة pH + pe يؤدي الى انخفاض في معدل ترسيب هذا المركب أي بمعنى زيادة اذابته. وقد تنطبق الحال على المركبات MnOOH (manganite) و Mn_3O_4 (hausmannite) في أن انخفاض قيمة pH + pe يؤدي الى زيادة كمية المنغيز المتحررة من هذه المركبات (الشكل ـ 4).



الشكل (4) تأثير جهد الأكسدة على ثباتية صور معادن المنغنيز في التربة **(Lindsay, 1979)**

وبشكل عام يمكن القول بأن المنغنيز اكثر ذوباناً في الوسط الحامضي المشبع لظروف الأختزال. وعند الرجوع الى دورة **(Dion & Monn, 1946)** (الشكل ـ 1) نتوصل الى إن ظروف الأختزال تشجع تحول صور المنغنيز المختلفة الثلاثية والرباعية الى صور المنغنيز الثنائية. ولهذا فإننا نجد زيادة كمية المنغنيز الجاهزة عند الظروف الغدقة على الرغم من كون قيمة pH الوسط تكون متعادلة في معظم الأحيان.

3- تأثير كاربونات الكالسيوم

يأتي تأثير كاربونات الكالسيوم على جاهزية المنغنيز من خلال تأثيره في رفع pH التربة وهذا يعني ان لوجود كاربونات الكالسيوم في التربة تأثيراً سلبياً على جاهزية النحاس. فقد أشار **(Osman et al. 1978)** الى ان كمية المنغنيز

الممتصة من قبل-أحد أصناف الحشائش قد أنخفضت بشكل معنوي مع زيادة محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم . وقد وجد (El-Leboucli et al. 1971) علاقة احصائية سالبة بين جميع صور المنغنيز بالتربة ومحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم . وحديثاً درس (El-Sherif et al, 1983) العلاقة بين محتوى التربة من صور المنغنيز المتبادلة exchangeable ، الذائبة Water soluble والمستخلص الكلي (الجدول 1) ومحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم إذ وجدوا الانخفاض المعنوي في محتوى التربة من صور المنغنيز مع زيادة محتوى كاربونات الكالسيوم .

جدول (1) تأثير محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم على محتوى التربة من صور المنغنيز المختلفة .

محتوى كاربونات الكالسيوم (%)	المنغنيز الذائب	المنغنيز المتبادل	المستخلص الكلي من المنغنيز
	بوحدة جزء في المليون		
21.5	0.33	3.00	30.08
29.1	0.17	2.84	22.12
35.7	0.45	1.84	19.87
46.2	0.27	1.78	15.40

وقد أكد (Boiscliot & Durraux, 1949) ان امدصاص المنغنيز من قبل سطح كاربونات الكالسيوم يعتبر العامل المحدد لجاهزيته بالاضافة الى تأثير ارتفاع pH التربة . وقد أيده في الرأي كل من (El-Sherif et al. 1983) .

4- تأثير المادة العضوية

تتأثر جاهزية عنصر المنغنيز للنبات بمحتوى التربة من المادة العضوية . فقد أشار (Tisdale & Nelson, 1975) الى ان وجود المادة العضوية في الترب الحامضية يؤدي الى ظهور اعراض نقص المنغنيز بالمقارنة مع إنخفاض محتوى التربة منها ويرجع سبب ذلك الى تكوين معقدات عضوية غير ذائبة insoluble organic complexes مع المنغنيز الثنائي مما يؤدي الى عرقلة جاهزيته للنبات . وقد درس (Sanchez et al. 1959) تأثير اضافة المادة العضوية على الكمية المستخلصة عن المنغنيز بواسطة خلات الامونيوم ammonium acetate عند

إضافة الكلس أو عند عدم اضافته أيضاً إن اضافة المادة العضوية ادت الى خفض كمية المنغنيز المستخلصة من المنغنيز عند عدم إضافة الكلس (جدول 2). وقد أشار كل من (Velez Ramos & Standifer, 1978) و (Khan, & Ryan, 1978) و (El-Sherif et al. 1983) وجود علاقة احصائية موجبة بين جاهزية المنغنيز ومحتوى التربة من المادة العضوية .أنَ زيادة محتوى التربة من المادة العضوية يساعد على زيادة جاهزية المنغنيز وهذا بالطبع مرتبط مع طبيعة المادة العضوية . اذ يكون المنغنيز الثنائي مع حوامض الدباليك معقدات غير ذائبة في حين يكون مع حوامض الفولفيك معقدات ذائبة تساهم في زيادة جاهزيته للنبات .

جدول (2) تاثير اضافة المادة العضوية على الكمية المستخلصة من المنغنيز عند اضافة الكلس أو عند عدم اضافته في تربة مزيجية رملية بعد ثلاث اسابيع من الحضن .

المعاملة	الكمية المستخلصة من المنغنيز (جزء في المليون) بدون اضافة الكلس	اضافة الكلس
54 جزء في المليون منغنيز	48.0	64.8
54 جزء في المليون منغنيز + 2% مادة عضوية	50.650.2	
54 جزء في المليون منغنيز + 4% مادة عضوية	50.0	39.0
54 جزء في المليون منغنيز + 10% مادة عضوية	53.9	32.4

5- تأثير لنشاط احياء التربة

تلعب الاحياء الدقيقة في التربة دوراً هاماً في تغير حالات المنغنيز ويعتقد انها تؤدي الى اكسدة المنغنيز الثنائي مما يؤدي ذلك الى قلة جاهزيتها بالاضافة لتثبيت المنغنيز في اجسامها . فقد أوضح (Gerretsen, 1937) و (Leeper & Swaby, 1940) الى قدرة الاحياء الدقيقة على اكسدة المنغنيز الثنائي . في حين اشار (Bromfield & Skerman, 1950) الى ان تأثير احياء التربة الدقيقة غير مباشر اذ تعمل على رفع pH التربة مما يشجع ذلك على عملية أكسدة المنغنيز الثنائي وترسيبه على هيئة اوكسيد المنغنيز .

وقد اكد (Zavarzin & Hirsch, 1974) على قدرة بعض احياء التربة على اكسدة المنغنيز الثنائي وتكوين اوكسيد المنغنيز . وقد ايده (Alexander, 1977) واشار (Meek et al 1973) الى أن اكسدة المنغنيز بمساعدة احياء التربة يزداد مع زيادة ضغط الاوكسجين وتركيز ايون البيكاربونات . وبشكل عام فان لاحياء التربة دوراً في اكسدة المنغنيز بطريقة مباشرة او غير مباشرة.

6- تأثير التداخل الايوني

ان اضافة الاسمدة النايتروجينية والفوسفاتية الحامضية تؤدي غالباً الى زيادة جاهزية المنغنيز للنبات . فقد اشار (Mishra & Tripathi, 1973) الى ان اضافة سماد كبريتات الامونيوم الى الترب الرملية المزيجية ادى الى زيادة جاهزية المنغنيز . وقد ايده (El-Sherif et al. 1983) واكد على وجود علاقة احصائية موجبة بين اضافة النايتروجين بمستويات 0 ، 120 ، 240 كغم نايتروجين/ هكتار بهئية كبريتات الامونيوم مع الكمية المستخلصة من المنغنيز من الترب الكلسية بواسطة 1% Na_2 EDTA وقد وجد (Petrie & Jackson, 1984) ان اضافة 22 أو 45 كغم نايتروجين/ هكتار بهئية كبريتات الامونيوم ادى الى زيادة تركيز المنغنيز في اوراق الشعير وكذلك الشوفان في حين فشلت اليوريا في التأثير على زيادة محتوى الاوراق للمحصولين وكذلك الانتاج (جدول 3) . وقد أكد الباحثان

جدول (3) يبين تأثير نوع السماد النايتروجيني وكميته على تركيز المنغنيز في اوراق محصولي الشعير والشوفان والانتاج الكلي .

المعاملة (كغم/ هكتار)		الشعير		الشوفان	
نايتروجين	منغنيز	الانتاج / هكتار	تركيز Mn ملغم/ كغم	الانتاج / هكتار	تركيز Mn ملغم/ كغم
—	–	3.24	11	1.67	15
22 (كبريتات الامونيوم)	–	5.42	19	2.56	19
22 (يوريا)	–	3.52	12	1.81	16
(كبريتات الامونيوم)	–	5.36	18	2.60	20
22 (كبريتات الامونيوم)	5.6	5.28	17	3.00	22
22 (يوريا)	5.6	5.06	17	2.93	28
45 (كبريتات الامونيوم)	5.6	6.42	20	3.06	27

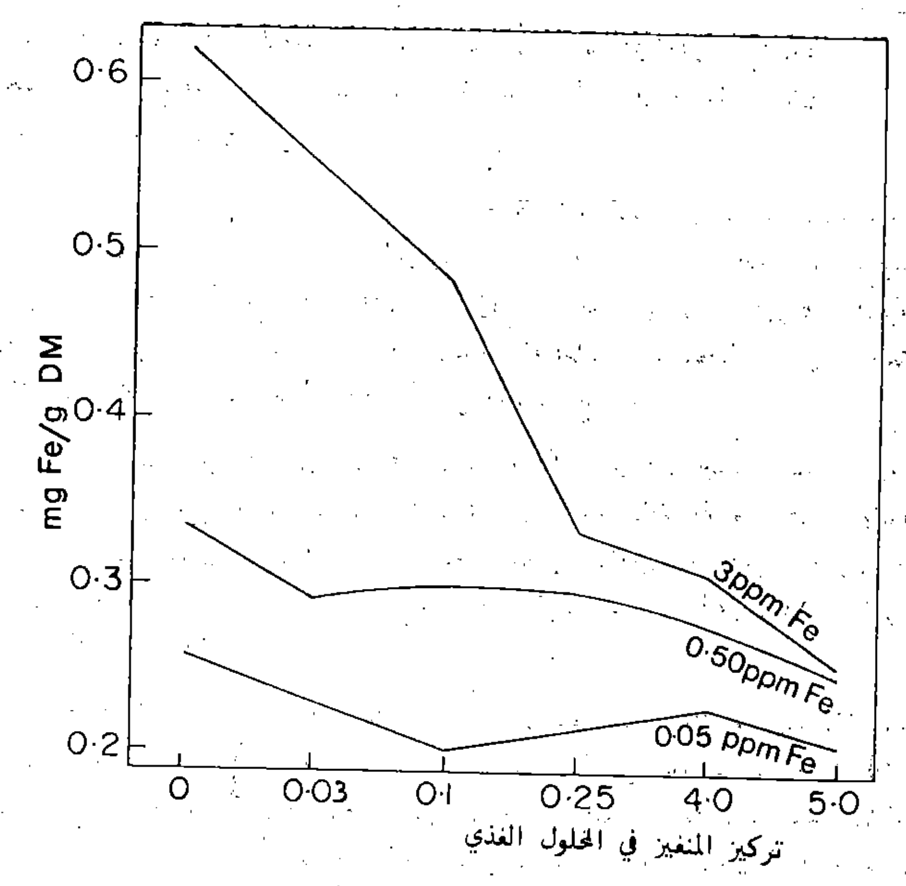
ان تأثير سماد كبريتات الامونيوم يكون فقط عند الاضافة بجور مع سماد كبريتات المنغنيز وان اضافة الاسمدة بطريقة النثر قد فشلت في زيادة محتوى الاوراق بالمنغيز وكذلك الانتاج .

وفي دراسة قام بها كل من (Jackson & Carter, 1976) في تربة كلسية وجدا أن اضافة سماد كبريتات الامونيوم وسماد فوسفات احادي الكالسيوم (السوبرفوسفات) بطريقة الجور ادى الى زيادة تركيز المنغيز في اوراق ودرنات البطاطا اكثر مما ساهمت به طريقة الأضافة السطحية . كما توصل (Voth & Christenson, 1980) لنفس الاستنتاج .

في حين اشار (Sideris & Young, 1949) الى ان تجهيز النبات بأيون الامونيوم يعمل على تقليل الكمية الممتصة من المنغيز بالمقارنة مع تجهيزه بأيون النترات . وقد يعزى سبب ذلك الى تأثير مصادر النايتروجين على التوازن بين الكايتون – والانيون خلال عملية الامتصاص وليس بسبب حالة التنافس الايوني بين NH_4^+ و Mn^2 .

لقد لاحظ (Maas et al. 1969) أن ايون المغنيسيوم يقلل من قدرة النبات على امتصاص المنغيز . في حين اشارت نتائج الدراسة التي قام بها كل من (Somers & Shive, 1942) بان اضافة المنغيز يعرقل امتصاص الحديد بواسطة نباتات الباقلاء وان تأثير عنصر المنغيز اكبر عند اضافة الحديد بمستوى (3) جزء في المليون (الشكل 4) . ويمكن الاستنتاج ان اضافة الحديد للتربة بهيئة ايونات حديدوز تؤدي الى اختزال المنغيز الثلاثي او الرباعي الى ثنائي وبالتالي يزداد امتصاص المنغيز ويقل امتصاص الحديد لذا فقد ظهرت اعراض نقص الحديد على نباتات الباقلاء .

ان اضافة ايون الكلوريد تؤدي غالباً الى زيادة جاهزية وامتصاص المنغنيز . فقد اشار (Jackson et al, 1966) الى ان اضافة الكلوريد بهيئة كلوريد البوتاسيوم او كلوريد الكالسيوم ادى الى زيادة تركيز المنغنيز في اوراق نباتات الباقلاء والذرة الصفراء المزروعة في الترب الحامضية . في حين وجد (Westermann et al. 1971) ان اضافة KCl ادت الى زيادة الكمية المستخلصة من المنغنيز للحدود اكبر مما فعله K_2SO_4 . وقد يعزى سبب ذلك الى مشاركة ايون الكلوريد فى حلقة تفاعلات الاكسدة والاختزال الخاصة بعنصر المنغنيز .



الشكل (4) تأثير زيادة تركيز المنغنيز في المحلول المغذي على محتوى الحديد في انسجة نباتات الباقلاء عند اضافة مستويات مختلفة من الحديد .

المنغنيز ونمو النبات

تمتص النباتات المنغنيز بهيئة ايون ثنائي التكافؤ (Mn^{2+}) ثم يساهم في عدد من العمليات الفسيولوجية التي تعمل على زيادة الانتاج الزراعي وتحسينه لمختلف المحاصيل . يشترك عنصر المنغنيز في تكوين بعض الانزيمات . وللمنغنيز دور هام في تفاعلات الاكسدة والاختزال وبالأخص تلك التي ترتبط بعملية التركيب الضوئي . ولهذا فان نقص عنصر المنغنيز يؤثر على تركيب الكلورفيل ويعمل على تقليل حجم الخلية ويؤثر ايضاً على تركيب الجدار الخلوي .

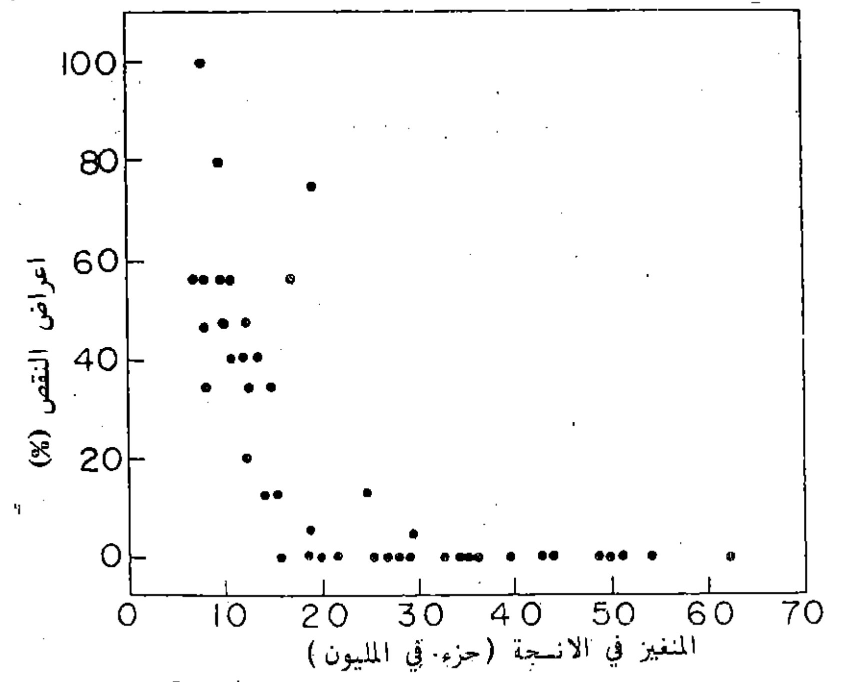
ان احتياج معظم المحاصيل الزراعية من المنغنيز قليل وقد يقع بحدود من 500 الى 1000 غم Mn/ هكتار حسب ماأورده (Schachtschabel, 1955) . وتكون جاهزية المنغنيز غالباً في الترب الكلسية والعضوية والقلوية واطئة جداً ويستلزم

معالجتها باضافة اسمدة المنغنيز المختلفة . في حين تمتاز الترب الحامضية بمحتواها العالي من المنغنيز الجاهز ، وقد يفوق محتوى هذه الترب الاحتياجات المطلوبة مساهماً في تكوين حالة السمية toxicity . فقد اشار (Foy, 1976) الى أن محتوى الترب ذات الـ pH من 5.0 الى 5.5 عال جداً وان تركيز المنغنيز الذائب قد يفوق الاحتياجات المطلوبة للنباتات .

اعراض نقص المنغنيز واسلوب المعالجة

يعتبر عنصر المنغنيز بانه غير متحرك داخل انسجة النبات لذا فان اعراض نقصه تظهر في الاوراق الحديثة التكوين وهي عبارة عن بقع صفراء . وهي تشابه اعراض نقص المغنيسيوم التي تظهر في الاوراق القديمة . وتعتبر البلاستيدات الخضراء اكثر اجزاء النبات تحسساً بنقص المنغنيز . كما يساهم نقص المنغنيز في التأثير على حجم الخلية وتركيب الجدار الخلوي .

ان الحد الحرج لمستوى المنغنيز في النبات يقع في حدود (12–25) جزء في المليون وان الشكل (5) يبين العلاقة بين شدة نقص المنغنيز ومحتوى انسجة نبات البنجر السكري . كما أن تجاوز تركيز المنغنيز في انسجة النباتات المختلفة حدود (160) جزء في المليون حسب رأي (Ohki, 1977) يعني الوصول الى حالة السمية التي هي عبارة عن بقع بنية تظهر على الاوراق القديمة .



الشكل (5) العلاقة بين شدة نقص المنغنيز ومحتوى انسجة نباتات البنجر السكري من المنغنيز (Farley & Draycott, 1973) .

يعالج نقص المنغنيز باضافة الأسمدة المختلفة (جدول 4) اما الى التربة مباشرة مع اختيار افضل طريقة اضافة واما قد يرش السماد على النباتات كمعالجة سريعة للنقص السائد . ولابد من القول بان لخصائص التربة والسماد الكيمياوية والفيزياوية دوراً هاماً في تحديد ذلك . فقد لاحظ (Randall & Schulte, 1971) ان اضافة 5.6 كغم منغنيز لكل هكتار بطريقة الجور اعطت نتائج تكافيء اضافة 67.2 كغم منغنيز لكل هكتار بطريقة النثر السطحي وقد أضيف سماد كبريتات المنغيز في الحالتين كلتيهما ان الاضافة السطحية قد ساهمت بأكسدة المنغنيز المضاف بسرعة . ولهذا فان الاسمدة المخلبية قد تفضل في معظم الاحيان على الاسمدة المعدنية وبالأخص في الترب الكلسية وان عدم توفر الاسمدة المخلبية قد يدفعنا الى اختيار طريقة الرش بدلاً من الاضافة المباشرة للتربة عند اختيار الاسمدة المعدنية .

جدول (4) اسمدة المنغنيز المختلفة والمستويات المقترح إضافتها

السماد	محتوى Mn (%)	المستوى المقترح اضافته: النثر	الجور	الرش
$MnSO_4 . 3H_2O$	26–28	22–130	6–11	3–4
MnO	41–68	48	11	4–6
Mn-EDTA	12	–	–	0.1–0.5
MnO_2	63	–	–	–
$MnCl_2$	17	–	–	–
$MnCO_3$	31			

لقد اشار (Rumpel et al, 1967) الى ان بعض الاسمدة المخلبية ليس لها تأثير فعال في زيادة الانتاج اذ وجدوا أن اضافة 1.1 كغم Mn لـ هكتار . بهيئة Mn-EDTA بطريقة الجور مع السماد المركب NPK (5x 10: 20) ادى خفض انتاج فول الصويا والبصل . وقد توصل (Randall & Schulte, 1971) لنفس الاستنتاج عند استخدام السماد Mn-EDTA . وقد يعزى سبب ذلك الى سرعة تحلل المنغنيز من السماد المذكور وبذلك يترسب بهيئة مركبات غير جاهزة .

وقد اعتبر (Ozaki, 1955) سماد كبريتات المنغنيز من اكثر الاسمدة المعدنية كفاءة وبالأخص عندما يضاف بطريقة الرش . واكسد (Henkens, 1965) ان الكمية (100–200) كغم Mn لـ هكتار تمثل المستوى المفضل اضافته بطريقة النثر الى الترب التي تعاني من النقص وبالطبع فان الترب الكلسية تحتاج الى المستوى الاعلى من السماد المضاف . في حين اشار (Mengel & Krikbye, 1982) الى ان اضافة (1-5) كغم Mn لكل هكتار بطريقة الرش يعتبر جداً كافياً لمعالجة نقص المنغنيز في معظم المحاصيل الزراعية وقد تضاف هذه الكمية بمعدل مرتين الى اربع مرات خلال الفترة الاولى من موسم النمو .

قائمة المصادر

1- Agrawal, H.P. and Motiramant D.P. (1966) Copper Status in Soil, of Madhya Pradesh J. Indian. Soil Sci. 19 (3) 161-171.

2- Akinola, A. Agboola and R.B. Corey (1971) Soil Sci. 115. 367-375.

3- Alexander, Martin. (1977) Introduction to Soil Microbiligy. 2 nd edn. P. 385-389.

4- Allen, S.E. and Terman. G.L. (1966) Siol Chemistry and Fertility. Int SOC. Soil Sci.

5- Anderson, W.B. (1964) . Diss. Abstr. 25, 3193.

6- Atlavina, S.A. (1965). Turkman SSR BIOI. Naul, 5: 53-59.

7- Awad.ı. K.M. (1984) ZANCO 2: 85-97.

8- Bear, F.E. (1965) . Chemistry of the Soil. 2nd. Edilion, Chapter 8.

9- Bingham, F.T., Page, A.L., and Sims, J.R. (1964) Soil Sci. Soc, Amer., Proc. 28: 351-354.

10- Bingham, F.T. and Garben, M.J. (1960) Soil Sci. Am. Proc. 24: 209-213.

11- Black, C.A. (1965) Methods of Soil analysis. part 2. Agron. Amer. SOC. Agron. Medison. Wis.

12- Blevins, R.L. and Massay, H.F. (1959) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23, 296.

13- Boawn, L.C., Viets, F.G., Jr., and Craw Ford, C.L. (1957) Soil Sci. 83: 219-227.

14- Brown. J.V. Holmes. R.S. and Specht; A.W. (1955). Plant Physol 30: 457-62.

15- Brown. A.L. and Karntz .B.A. (1966). Soil Sci. Amer. Proc. 30: 86-89.

16- Burleson, C.A., Dacus, A.D. and Gerard, C.D. (1961). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 365-368.

17- Chanler, W.H., D.R. Hooglard and P.L. Hibarrd (1932) Proc. Amer. SOC. Hort. Sci. 29: 255-263.

18- Chapman, H.D. (1966) Diagnostic Criteria for plants and Soils. pp. 484-499.

19- Chaudhry, F.M. and Loneragan, J.F. (1972) J. Exp Bot.

20- De Mumbrun, L.E. and Jackson .M.L (1956). Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 334-337.

21- El-Gabaly, M.M. (1950). Soil Sci. 69: 167-174.

22- El-Gabaly, M.M. and Jenny, H. (1943). Soil Sci. Soc. 55: 257-263.

23- El-Gabaly, M.M. and Jenny, H. (1943).J. Phys. Chem. 47: 399-408.

24- Follett R.H., and Lindsay, W.L. (1970) Colo., Agn. Exp. Sta. Tech. Bull. 110.

25- Gilbert, F.A. (1952). Copper in nutrilion. Advunce Agron. 4: 147-77.

26- Gladstones, J.S. and Loneragan. J.F. (1967). Aust. J. Agr. Res. 18: 427-446.

27- Goldschmidt. V.M. (1959). Geochemistry.

28- Gupgu, V.P. and Mehta, D.S. (1979). Plant and Soil 51: 597-602.

29- Haq. A.U. and Miller, M.H. (1972). Agron. J. 64: 779-782.

30- Hodgson, J.F. (1960). Adv. Agron. 15: 119-159.

31- Hodgson, J.F., Lindsay, W.L., and Triewiller, J.F. (1966) Soil Sci. Soc Amer., Proc. 30: 327-726.

32- Hodgson, J.F. Lindsay, W.L. and Trieweiler, J.F. (1969). Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 30: 665-669.

33- Jurinak, J.J. and Bauer, N. (1956). Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 20: 466-471.

34- Jurinuk. J.J. and Inauge T.S. (1962). Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 26: 144-147.

35- Krauskopf, K.B. (1972). Soil Sci. Soc Amer., Madison, Wisconsin PP. 2-70.

36- Lindsay, W.L. (1972) Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin PP. 41-57.

37- Lindsay, W.L. (1979). Chemical Equilibria in Soils

38- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1969). Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 33: 62-68.

39- Lucas, R.E. (1945). Soil Sci. Soc. Amer., Proc.10: 269-274.

40- Mc Bride. M.B. (1978) Soil Soc. Amer., J., 42: 27-31.

41- Mengel, K. and Kirkby, E.A (1982). Prineiples of Plant natrition. 3rd edn. Bern.

42- Menzel, R.G. and M.L. Jackson. (1951). Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 15: 122-124.

43- Millikan, C.R., Hanger, B.C and Bjarnson. E.N. (1968). Aust. J. Boil. Sci. 21: 619-640.

44- Mistra. S.G. and Tiwar, R.G. (1966). Soil Sci. Plant Nutn. 12: 6-10.

45- Neelakontan, V and Mether, (1961). Copper Status of Soils of Western India Soil Sci. 91: 251-256.

46- Orabic A.A., Abdallah, A. Mashadi. H. and Barakat, A.H. (1981). Plant and Soil. 59: 51-59.

47- Ozaki, L.G. (1955). Am. Soc. Hort. Proc., 66: 313-316.

48- Page, E.R. (1962). Plant and Soil. 16-247.

49- Pillai, K.M. (1960). Crop Mutrition. New delhy.

50- Randall, G. Wand Schulte. E.E. (1971). Proc. Wisc Fert. and Aglime Conf., 10: 4-10.

51- Randhawa, N.S. and F.E. Br Broadbent. (1978) Soil Sci 99: 295-300.

52- Riceman, M. Devlin (1971) Plant Physioligy. Second Edition.

53- Rumpel, J.A. Kozakiewicz ,B ELLIS, G. Lessman and J. Davis (1967). Quarterly Bull. Mich. Agric. Exp. Sta., 50- 4-11

54- Saeed .M. (1977) Plant and Soil. 48: 641-469.

55- Sanchez, Z,C., and Kamprath, E.J. (1959). SSSA. Proc. 23: 302.

56- Sharma, B.M. and Deb, D.L (1973) J. Indian. Soc. Soil Sci. Vol. 22 (2): 145-150.

57- Shukla, U.C. and Raj H. (1980) Plantt and Soil. 57: 322-333.

58- Sommer, A.L. (1931) Copper as anessential to Plant growth. Plant Physiology.

59- Stanchev, L., Gyurov, G. and Mashev, V.0(1962) Trace elements in Soil.

60- Stevenson, W. and Morgan, J.J. (1972). Soil Sci. Soc. Amer. Proc.

61- Stumm, Wand Morgan, J.J. (1970) Aquatic Chemistry.

62- Swaine, D.J. (1955). Bur. Soil Sci. (Gt-Brit), Tech, Commun. No. 48

63- Thorne, D.W., Lawas W.D. and Wallace, A. (1942) Soil Sci. 54: 463-468.

64- Tisdal, S.L. and Nelson, L. L.W. (1975) Soil Sertility and Fertilizers.

65- Troug, E. (1964). Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 1946.

66- Udo, E.J. and Bohn, H.L. and Tucker, T.C. (1970) Soil Sci Soc. Amer., Proc. 34: 405-407.

67- Vinade, R., Kenzek, B., Davis, J.F., Doll, E. and Melton, J. (1968). Mich., Agr. Exp. Sta. Quart. Bull. 50: 625-636.

68- Wallaca, A., Elgazzar. A.A. Cha, J.W. and Alexander, G.V. Soil Sci. 117: 347-351.

69- Wiklander, L. (1953). Springer verlage Berlin 4: 162-163.

70- Zavar Zin, G.A. and Hirsch (1974). Bergey's Monual of Determinative Bacteriology. 8th. edn. pp. 163-165.

الفصل السابع

الحديد ـ البورون ـ المولبيدنيوم

1- الحديد Iron

يعتبر عنصر الحديد من العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات . وقد صنف ضمن العناصر الغذائية الصغرى بسبب قلة احتياج النبات اليه على الرغم من اهميته . يوجد الحديد في كل اجسام النباتات والحيوانات وايضاً في الترب على شكل مركبات عضوية مختلفة التي من خلال تحللها بفعل العمليات البايلوجية ليتحرر الحديد بصورة جاهزة أو غير جاهزة [واهمية الحديد للنبات ترجع الى انه يدخل في تركيب إنزيمات التنفس وبهذا فإن لعنصر الحديد دوراً مباشراً في عمليات التنفس في النبات وهو قادر على ان يقوم بدور ناقل الاليكترونات في الانظمة الانزيمية التي تتم فيها تفاعلات الاكسدة والاختزال في النبات التي لها دور مؤثر على الانتاجية .

الحديد في التربة

يوجد عنصر الحديد بالقشرة الارضية بهيئة اوكسيدات ، هايدروكسيدات وفوسفات وكذلك يوجد في التراكيب البنائية للمعادن الاولية ومعادن الطين الثانوية . ويكون الحديد نسبة عالية من مكونات القشرة الارضية المعدنية تصل الى 5% ولهذا فإنه يعتبر رابع عنصر من حيث الوفرة في القشرة الارضية بعد الاوكسجين والسيليكون والالمنيوم . وقد يرتبط الحديد مع المعادن الاولية المكونة للصخور الرسوبية والنارية والمتحولة . لذا تعتبر معادن التربة المختلفة وكذلك بعض المركبات الحاوية على الحديد المصدر المجهز للتربة بعد تحرر كمية منه خلال عمليات التجويه لمعادن التربة .

واهم المعادن السائدة والمركبات الحاوية على عنصر الحديد هي :
الألوفان SiO_4 ‏Olivine (Mg, Fe)$_2$ ، البايرايت Pyrite (FeS) ، السدرايت Siderite ($FeCO_3$) ، الهياتايت Haematite (Fe_2O_3) ، الجويثايت Goethite (FeOOH) ، المغنتايت Magnetite (Fe_3O_4) .

لذا فإن المحتوى الكلي للترب من الحديد يختلف وفقاً لانتشار المعادن والمركبات الحاوية على هذا العنصر كما أنّ لخصائص التربة المختلفة تأثيراً على المحتوى الكلي للتربة . فقد لاحظ (Tayel, 1964) إن محتوى الترب الرسوبية من الحديد الكلي يتراوح بين 1-7% ، وإن الترب المحتوية على اكثر من 7% $CaCO_3$ يكون محتواها من الحديد الكلي لايزيد عن 2.6% ، بينما الترب التي تحتوي على اكثر من 70% كاربونات كالسيوم يكون الحديد الكلي فيها أقل من 0.6% . أما (Sauchelli, 1969) فقد اشار الى أن الحديد من العناصر الاكثر وفرة بالمقارنة مع بقية العناصر الغذائية الصغرى بالتربة ، اذ تتراوح الكمية الكلية منه في الترب بين (0.5-5%) . وقد بين (McConnell, 1922) بأن محتوى الحديد لترب رملية كان 2.38% وحوالي 4.4% للترب الدبالية . في حين اكد (Bear, 1929) أن محتوى الترب الرملية أقل من محتوى الترب الطينية . وفي دراسة على نماذج من الترب العراقية قام بها (زيدون ، 1981) وجد أن محتوى الحديد الكلي كان بمعدل 3.45, 3.64, 4.53, 4.69, 4.81% حديد للترب المستعملة وهي مزيجية طينية ، مزيجية طينية غرينية ، مزيجية رملية ، طينية ، طينية على التوالي . ووجد (Jadhav and Malewar, 1980) في دراستهم على ترب مختلفة النسجة وعالية المحتوى بكاربونات الكالسيوم إن المحتوى الكلي يتراوح بين 5.12-7.88% .

صور الحديد في التربة

يوجد الحديد بالتربة بصور متعددة وهي : الصور الذائبة ، والحديد المتبادل وغير المتبادل الذي يشمل صور الحديد المعدني والمترسبة بهيئة مركبات حديد .

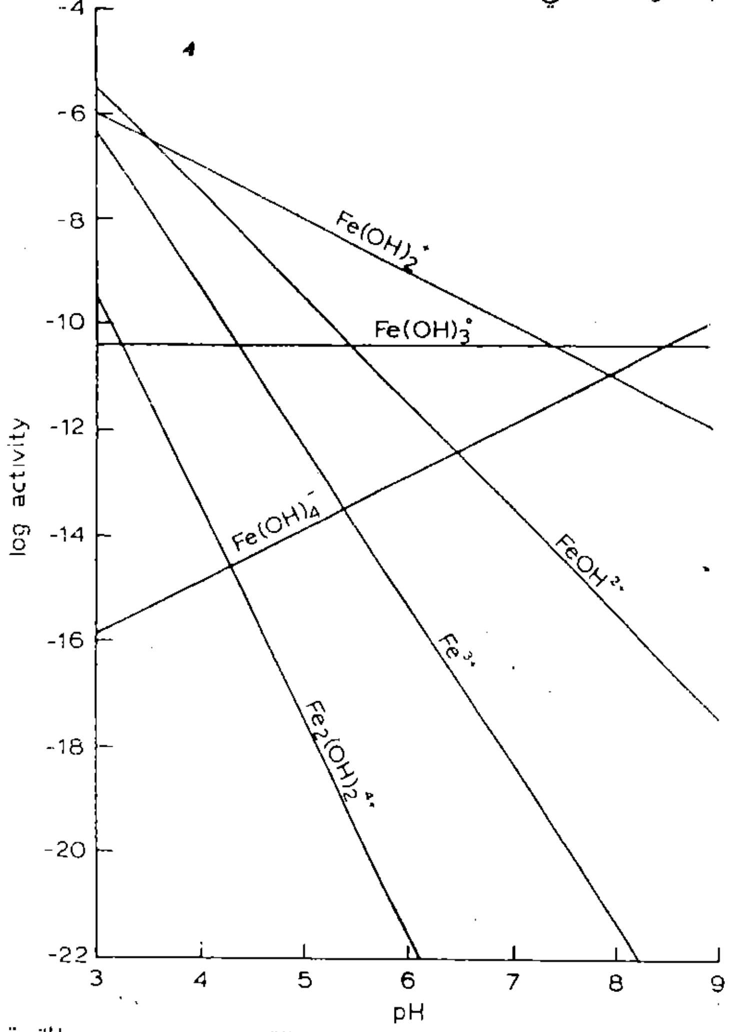
إن محتوى محلول التربة من الحديد الذائب Soluble-Fe قليل جداً بالمقارنة مع المحتوى الكلي في أي تربة . ويوجد الحديد بمحلول التربة إما بهيئة صور معدنية ذائبة Soluble inorganic forms والتي تشمل Fe^{3+} $Fe(OH)_2^+$, $FeOH^{+2}$, Fe^{+2} . وأما بهيئة صور عضوية ذائبة أي معقدات الحديد العضوية الذائبة Fe-organic complexes التي يعتمد وجودها على محتوى التربة من المادة العضوية .

إن سيادة إحدى صور الحديد المعدنية الذائبة يعتمد على ظروف التهوية بالتربة وكذلك pH التربة . ففي الترب الجيدة التهوية يكون محتوى محلول التربة من

صورة الحديدوز (Fe^{+2}) Ferrous قليلا او معدما وتكون السيادة لايون الحديديك وصوره المائية بالأخص عندما يكون pH التربة قاعدي التفاعل . وقد اشار (Lindsay, 1979) الى سيادة ايون الحديديك وصوره المائية hydrolysis species في مختلف الظروف بسبب كون مركب هايدروكسيد الحديديك هو المركب المسيطر على اذابة الحديد بالتربة ومنه يمكن أن تتكون صور الحديد الأخرى وفقاً لظروف التربة السائدة .

$$\underset{(\text{صلب})}{Fe(OH)_3} + 3H^+ = Fe^{+3} + 3H_2O$$

وقد يحاط ايون الحديديك المتكون بعدد من جزيئات الماء مكوناً صوراً مائية متعددة يحدد سيادتها pH التربة وهي $Fe(OH)^{+2}$ ، $Fe(OH)_2^+$ ، $Fe(OH)_4^-$ (الشكل 1) . وهذا يعني أن الصور $FeOH^{2+}$, Fe^{3+}, $Fe(OH)_2^+$ تسود في



الشكل (1) الصور المائية للحديديك المرتبطة بحالة توازن مع حديد التربة .

الوسط الحامضي بينما الصور $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_4^-$ تسود في الترب القاعدية . وقد لا يستقر ايون الحديديك في محلول التربة في الوسط الحامضي وقد يختزل الى صورة ايون الحديدوز بمساعدة احياء التربة المتخصصة مثل **T. ferroxidans** التي تفضل الوسط الحامضي . وقد تحصل عملية أختزال الحديديك الى حديدوز نتيجة لاكسدة الكبريت الى كبريتات وفقاً للآتي

$$S + 4H_2O \longrightarrow SO_4^{2-} + 8H^+ + 6e^-$$

وبهذا فإن التفاعل السابق يجهز الوسط بعدد لا بأس به من الاليكترونات الحرة التي تستخدم في عملية الأختزال كالتالي :

$$Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}$$

وقد تحصل عملية إختزال الحديديك الى حديدوز نتيجة لغمر التربة بالماء وبهذا تقوم البكتريا اللاهوائية بخطوات الأختزال وتحصل هذه الخطوات كالآتي : ـ

	log K
$Fe(OH)_3 \rightleftharpoons Fe^{+3} + 3OH^-$ (صلب)	−39.4
$3H^+ + 3OH^- \rightleftharpoons 3H_2O$	42.00
$Fe^{3+} + e \rightleftharpoons Fe^{2+}$	13.02
$1/2\ H_2O \rightleftharpoons e + H^+ + 1/4\ O_2\ (g)$	−20.77
$Fe(OH)_3 + 2H^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + 1/4\ O_{2(g)} + 2\ 1/2\ H_2O$	−5.15

وقد ترتبط جزيئات الماء مع أيون الحديدوز لتكون صوراً مائية أخرى خاصة بهذا العنصر مثل $Fe(OH)^+$ و $Fe\ (OH)_2$ التي تتأثر سيادتها بالوسط بقيمة pH الوسط وظروف التهوية . وسنحاول لاحقاً بيان العوامل المؤثرة على السلوك الكيمياوي لهذه الصور في التربة .

يوجد الحديد بصورة ايونات متبادلة ، أي انها ممدصة على أسطح غرويات التربة ، وقد لا تشكل هذه الصورة الا نسبة قليلة جداً بالمقارنة مع الكمية الكلية للحديد بالتربة والتي تتمركز بصورة غير متبادلة أي معدنية أو مركبات مترسبة تكون جاهزة للنبات . وتعتبر صور الحديد الذائبة في محلول التربة

والموجودة بصورة عضوية أو معدنية ذات اهمية خاصة لكونها تمثل القسط الاكبر من الكمية الكلية الجاهزة بالتربة .

العوامل التي تؤثر على جاهزية الحديد

سنحاول هنا بيان اهم العوامل التي تؤثر على جاهزية الحديد في التربة للنبات النامي . وقد أجريت عدة دراسات لبيان دور هذه العوامل وكذلك معالجتها لتكون في خدمة زيادة جاهزية الحديد بالتربة وسنتطرق لبعض هذه الدراسات ضمن الآتي : —

1- تأثير درجة تفاعل التربة .

لقد سبق ان اشرنا الى ان جاهزية العناصر الغذائية تكون مرتبطة غالباً وبصورة عالية مع pH التربة . أما بخصوص العلاقة بين pH التربة وجاهزية الحديد فإن pH التربة له التأثير المباشر في تحديد سيادة الصور الايونية الذائبة في محلول التربة وكذلك التركيز الكلي الذائب في محلول التربة . ولو حاولنا اولاً التطرق الى ايون الحديديك وصوره المائية فإننا سنجد إن تركيز ايون الحديديك يقل بمقدار 1000 مرة عند زيادة قيمة pH التربة وحدة واحدة ويمكن وصف هذه العلاقة بالآتي :

	$\log K^{o}$
$Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightleftharpoons Fe^{3+} + 3H_2O$	2.70
$3H_2O \rightleftharpoons 3H^+ + 3OH^-$	3(−14)
$Fe(OH)_3 \rightleftharpoons Fe^{3+} + 3OH^-$	−39.3

$$[Fe^{3+}][OH^-]^3 = Ksp \text{ (حاصل الاذابة)}$$

$$= 10^{-39.3}$$

وبعد التعويض عن قيمة $[OH^-]$ من ثابت التحلل المائي $(10^{-14} = K_w)$

$$[Fe^{3+}] = [H^+]^3 [10^{14}]^3 * 10^{-39.3}$$

$$= 10^{2.7} [H^+]^3$$

ولو إفترضنا إن pH الوسط يساوي (7) فإن تركيز الحديديك سيساوي :

$$[Fe^{3+}] = 10^{2.7} * 10^{-21}$$
$$= 10^{-18.3}$$ مول / لتر

أما لو كان pH الوسط يساوي (8) فإن تركيز الحديديك سيساوي :

$$[Fe^{3+}] = 10^{2.7} * 10^{-24}$$
$$= 10^{-21.3}$$ مول / لتر

ولهذا نجد أن زيادة pH التربة من 7 الى 8 ادى الى خفض تركيز ايون الحديديك من $10^{-18.3}$ الى $10^{-12.3}$ مول / لتر أي بمقدار 1000 مرة .

أما ايون الحديدوز وصورة المائية فإن زيادة pH التربة وحدة واحدة سيؤدي الى انخفاض تركيز ايون الحديدوز بمقدار 100 مرة كما توضحه المعادلات التالية :

	log K
$Fe^{3+} + e \rightleftarrows Fe^{2+}$	13.04
$Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightleftarrows Fe^{3+} + 3H_2O$	2.7
$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e \longrightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$	15.74

$$\frac{[Fe^{2+}]}{(H^+)(e^-)} \quad 10^{15.74}$$

$$[Fe^{2+}] = 10^{15.74} (H^+)^3 (e^-)$$

ولكون الاليكترون سيتعادل مع واحد من ايونات الهايدروجين فإن

$$[Fe^{2+}] = 10^{15.74} (H^+)^2$$

وعند فرض قيمة pH التربة تساوي (6) فإن تركيز ايون الحديدوز سيكون .

$$[Fe^{2+}] = 10^{15.74} (10^{-12})$$
$$= 10^{3.74}$$ مول / لتر

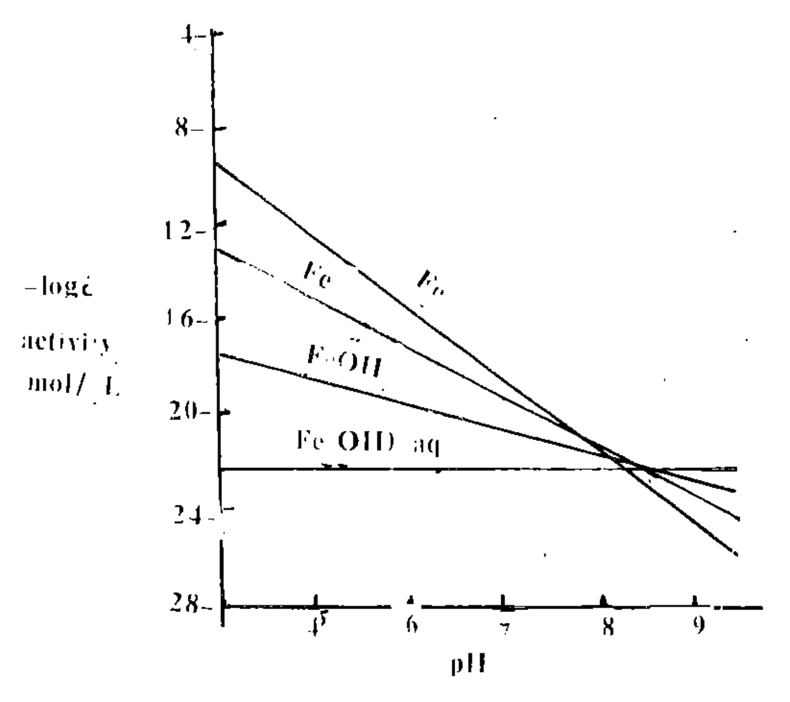
وعند قيمة pH تساوي (7) فإن تركيز ايون الحديدوز سيكون

$$[Fe^{2+}] = 10^{15.74}\ (10^{-14})$$

$$= 10^{1.74}$$ مول / لتر

أي أن زيادة pH التربة من 6 الى 7 ادى الى خفض تركيز ايون الحديدوز بمقدار 100 مرة من $10^{3.74}$ الى $10^{1.74}$ مول/ لتر .

ولهذا نجد أن التركيز الكلي للصور الذائبة في محلول التربة يقل مع ارتفاع pH التربة . وتكون السيادة لايون الحديديك في الوسط الحامضي (pH أقل) في حين تكون السيادة لايون الحديدوز في الوسط القاعدي (pH اعلى من 7.8) ويتساوى تركيز كل من الحديديك والحديدوز في pH يساوي 7.8 (الشكل 2) .

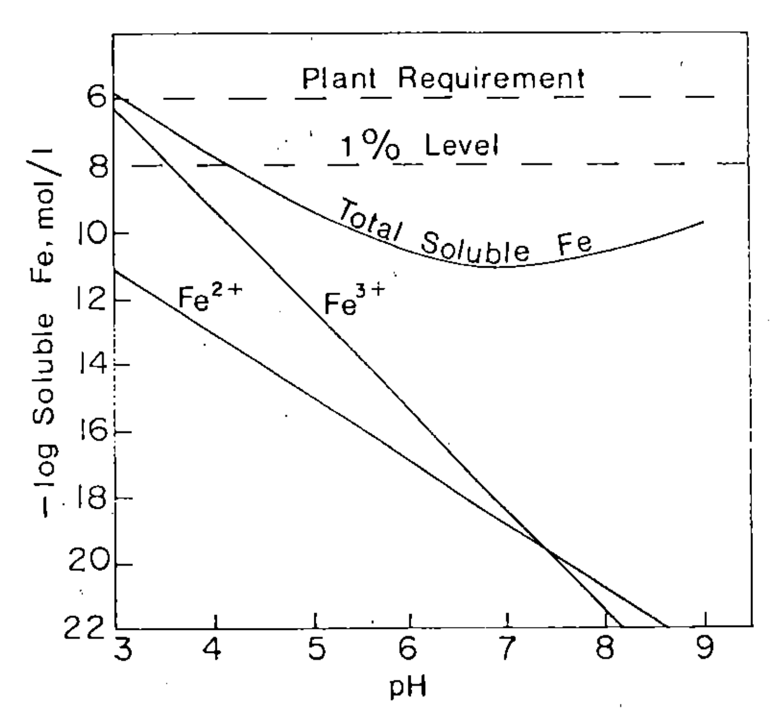


الشكل (2) العلاقة بين تركيز ايون الحديدوز وتركيز ايون الحديديك مع تغير قيمة pH الوسط (Lindsay, 1972) .

ولكن بسبب وجود مزيد من ايونات الهايدروجين في الوسط الحامضي تتحول جميع صور الحديديك الى حديدوز بسهولة في ظروف التهوية وكذلك الظروف اللاهوائية ويحتاج الوسط الى كمية كبيرة من الاوكسجين حتى تتحول صورة ايون

الحديدوز في الوسط الحامضي الى ايون الحديديك . ولكن في الوسط القاعدي تحتاج صورة ايون الحديدوز الى كمية قليلة من الاوكسجين حتى يتحول هذا الى ايون الحديديك لذا فإن السيادة في الوسط القاعدي لايون الحديديك في الظروف الهوائية الاعتيادية ولايون الحديدوز في الظروف غير الهوائية . لذا تحصل حالة التسمم بالحديد في الاراضي المزروعة بالرز لان غمر التربة وخلال عدة اسابيع يجعل مستوى الحديد الذائب يتحول من 0.1 جز في المليون الى 50-100 جزء في المليون حسب ماأورده (Ponnamperuma, 1978) . وقد اشار (Trough, 1948) الى أنه عند ارتفاع pH اكثر من 6.5 فإن هذا يؤدي الى أن الحديد الذائب في صورة حديدوز Fe^{2+} سوف يتأكسد الى اوكسيد الحديديك الذي يكون غير ذائب تحت ظروف التربة المتعادلة والقلوية والذي يؤدي بذلك الى حدوث اعراض نقص الحديد بالنبات . وبين (Gupta et al, 1970) الى أنه عند ارتفاع قيمة pH التربة يتسبب ذلك في تحويل الحديد من صورة ايون الحديدوز الى حالة $Fe(OH)_n^{3-n}$ وهذه الحالة أو الصورة بطبيعة الحال غير جاهزة للنبات . ومن هذا يتضح لنا أهمية الصورة الذائبة لايون الحديدوز التي يفضلها النبات للأمتصاص وسيادة هذه الصورة في الوسط الحامضي في ظروف التهوية وغير التهوية وكذلك في الترب القاعدية التفاعل في ظروف غير التهوية فقط . وقد أوضح (Lindsay, 1974) إن الكمية الكلية الذائبة من الحديد في محلول التربة تعتمد على قيمة pH التربة وان معظم الترب تعاني من نقص الحديد الجاهز وذلك لان الكمية الكلية الذائبة من الحديد التي تسد احتياجات النبات تكون موجودة عند pH يساوي 3 ورفع pH التربة الى 4 يوفر 1% فقط من احتياجات النبات من الحديد (الشكل 3) . ولهذا فإن محتوى الحديد الذائب في الظروف الاعتيادية للترب الزراعية هو أقل من المطلوب لسد الاحتياجات .

لذا اتجهت آراء الباحثين نحو استخدام المحسنات الحامضية للتغلب على نقص الحديد وبالأخص بالترب القاعدية والجيرية . فقد ذكر (John, 1976) ان اضافة 10% من وزن التربة كبريت معدني ادى التغلب على نقص الحديد بالمقارنة مع عدم الاضافة . كما وجد Al-Anie et al (1977) ان زيادة جاهزية الحديد في تربة ابي غريب الرسوبية الجيرية بعد معاملتها بالكبريت كذلك ادت هذه الاضافة الى زيادة محتوى سيقان نباتات الشعير المزروعة والكمية الكلية الممتصة من قبل النبات . . وقد حصل (Taj-Aldin, 1979) على نفس التأثير لاضافة الكبريت عند زراعة نبات الحنطة في ثمان من الترب العراقية .



الشكل (3) العلاقة بين اذابة الحديد و **pH** التربة . الخطوة المتقطعة تمثل **100**% (الخط الاعلى) و **1**% (الخط الاسفل) من احتياجات النبات .

2- تأثير المادة العضوية

يؤدي وجود المادة العضوية الى زيادة جاهزية بعض العناصر الغذائية باعتبار انها مصدر لبعض المواد العضوية التي تساهم في تكوين مركبات عضوية ذائبة مع ايونات المعادن . وفي دراسة قام بها (Takkar, 1969) حول تأثير مستويات مختلفة من المادة العضوية على الحديد المستخلص لكل من التربة الحامضية ، المتعادلة ، الكلسية وكذلك الترب الملحية والقلوية عند 60% من السعة الحقلية وفي الظروف الغدقة ، لاحظ ان الحديد الجاهز قد زاد بعد فترة 35 يوماً تحت ظروف 60% من السعة الحقلية بسبب زيادة كمية المادة العضوية وظهر بالترب تحت الظروف الغدقة نفس السلوك اذ زاد الحديد بصورة واضحة بزيادة المادة العضوية .

اشار (Walling ford **et al**, 1975) الى إن تأثير السماد الحيواني على الحديد المستخلص بواسطة DTPA من تربة مزيجية طينية غرينية قد زيدت في كمية الحديد المستخلص من هذه التربة . عالج (Miller **et al** . 1969) في تجربة بالبيت الزجاجي النقص بالزنك والحديد بالترب المزروعة بنباتات الذرة بواسطة اضافة سماد الدواجن ، إذ تبين أنّ هذه السماد ربما يقوم بتجهيز المواد المخلبية التي

تؤدي في جعل المغذيات الصغرى بصورة جاهزة وقد توصل (Thomas & Mathers, 1979) الى ان المعدلات العالية من السماد العضوي المضاف قد صلحت من الاصفرار الناتج عن نقص الحديد في نبات الذرة البيضاء المزروعة في تربة كلسية ذات نسجة رملية طمية ناعمة ، لقد درس (Mandal, 1961) تأثير الغمر بالماء مع أضافة أو عدم اضافة مادة عضوية بهئية قش Straw على تركيز الحديدوز بمحلول التربة وكذلك كمية الحديدوز المتبادلة (جدول 1) .

جدول (1) تأثير فترة الغمر بالماء مع اضافة أو عدم اضافة المادة العضوية على اختزال أيون الحديديك .

فترة الغمر بالماء يوم	الحديدوز في محلول التربة (جزء في المليون)	الحديدوز المتبادل ملي مكافيء / 100 غرام
المعادلة القياسية		
0	لا يوجد	لا يوجد
7	لا يوجد	لا يوجد
14	لا يوجد	قليل جداً
21	لا يوجد	10
28	لا يوجد	20
38	لا يوجد	31
51	قليل جدا	40
63	2.0	46
78	4.0	50
اضافة قش الحنطة		
0	لا يوجد	لا يوجد
7	لا يوجد	26.0
14	30.0	108.0
21	90.4	162.0
28	132.0	200.0
38	192.0	446.0
51	184.0	450.0
63	128.0	482.0
78	104.0	523.0

وتتلخص ميكانيكية تحلل القش في ظل ظروف غمر بالماء (الظروف اللاهوائية) بالآتي : ـ

$$2C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{احياء التربة}} 4CH_3COCOOH + 8H^+ + 8e^-$$

$$\downarrow$$

$$4H_2O$$

تتفاعل مع الكبريت بوجود احياء التربة

$$SO_3^{2-} + 3H_2O + 2H^+ \longleftarrow SO_4^{2-} + 8H^+ + 6e^-$$

$$H_2S + 4H_2O \longrightarrow S + 2H^+ + 2e$$

$$2Fe(OH)_3$$

$$2Fe^{2+} + 6H_2O$$ (موجود بهيئة مركب مترسب)

3- تأثير كاربونات الكالسيوم

تتأثر صلاحية كثير من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات بارتفاع pH في الاراضي الكلسية كذلك فإن كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم تشترك بصورة مباشرة أو كطور صلب في تفاعلات ذوبان كل من الفسفور والحديد بصفة خاصة . وعناصر أخرى بصفة عامة . أشار (Bonnet, 1947) الى أن الترب الكلسية تعاني من نقص الحديد اذ يؤدي الى زيادة $CaCO_3$ أو وفرته بالتربة الى تقليل جاهزية الحديد والمنغنيز . وأوضح (Mahendra & Dahiya, 1976) في دراسة قام بها حول تأثير $CaCO_3$ على جاهزية الحديد وعلى الوزن الجاف لنبات الحمص . ووجدا أن اضافة كاربونات الكالسيوم الى تربة قوامها خفيف pH 7.2 أدت الى زيادة معنوية في الوزن الجاف بدون اضافة الحديد . لكن وزن المادة الجافة قد قل عندما اصبحت نسبة كاربونات الكالسيوم 8% عند نمو النبات الى 75 يوما . ووجدا أيضا ان تركيز الحديد وكذلك الحديد الممتص قد قل بزيادة نسبة كاربونات الكالسيوم وأكد (Dingra et al, 1965) أن حدوث عملية نقص في جاهزية الحديد بسبب زيادة محتوى التربة من $CaCO_3$ التي تساعد على تحويل أيون الحديدوز الذائب الى صورة غير ذائبة هي اوكسيد الحديديك أو هايدروكسيد الحديديك . ووجد (Abd-Elrazak, 1975) عند اضافة $CaCO_3$ الى تربة

طينية بمعدلات 0 ، 30.9 ، 63.8 ، 98.8 ، 162.0 ، 234.0 غم $CaCO_3$ / كغم تربة تم زراعتها بنباتات اللوبيا ولمدة شهرين ووجد أن اضافة $CaCO_3$ الى التربة قد شجع نمو نبات اللوبيا ولكن انخفض تركيز كل من الحديد والزنك والبورون والفسفور في الاوراق بينما لم يتأثر تركيز الكالسيوم فيها بأضافة كاربونات الكالسيوم . وقد بين (Humbert, 1963) أن $CaCO_3$ يؤدي الى زيادة في pH التربة وبالتالي يؤدي الى تقليل في جاهزية الحديد .

لقد اشار (Rutland, 1971) الى أن وجود كاربونات الكالسيوم يشجع نقص الحديد ويساهم في ظهور الاصفرار وقد عزا سبب ذلك الى عامل فسيولوجي هو عرقلة ايون HCO_3^- لامتصاص الحديد وانتقاله بالنبات . وقد أكدت نتائج التجربة التي قام بها (Rutland, 1971) بأن وجود ايون HCO_3^- في المحلول المغذي يعرقل امتصاص الحديد بالمقارنة مع عدم اضافة HCO_3^- (جدول 2) .

جدول (2) تأثير اضافة HCO_3^- الى المحلول المغذي على امتصاص وتوزيع الحديد في النبات (بوحدة Cpm) .

	الاوراق الحديثة	الاوراق القديمة	السيقان	الجذور
بدون HCO_3^-	420	70	75	1638
اضافة HCO_3^-	272	87	76	1438

ويعتبر أيون HCO_3 الناتج الطبيعي في الترب الكلسية بسبب تحلل المادة الكلسية وفقاً للآتي :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

وقد فسر (Mengel & Kirkbye, 1982) تأثير أيون HCO_3^- على امتصاص الحديد من قبل النبات ، بأن امتصاص هذا الأيون يؤدي الى رفع pH خلايا النبات وهذا يؤدي الى تدهور الحديد وترسيّبه داخل النبات . أو قد يعود السبب الى أن ميكانيكية تحويل النايتروجين بالاخص $NO_3^- \longrightarrow NH_4 - N$ داخل النبات تحتاج الى حموضة (ايونات H^+) وليس وجود ايونات الهايدروكسيل الناتج من تحلل ايون HCO_3^- داخل خلايا النبات مما يعرقل ذلك امتصاص النايتروجين

بهيئة NO_3^- . وقد أكد (Aktas & van Egmond, 1979) أن زيادة مستوى NO_3^- في المحلول المغذي يشجع حالة الأصفرار الناتجة من وجود $CaCO_3$ المسببة في نقص الحديد .

ومن اجل مراعاة نمو النبات وتغذيته تحت ظروف الاراضي الجيرية فإنه يجب أخذ النقاط الآتية في الاعتبار :

(1) الحذر من الرطوبة الزائدة حتى يعمل على الاقلال من التحلل المائي للمادة الكلسية .

(2) يمكن الاقلال من مفعول ايونات OH^- الناتجة عن التحلل المائي للكاربونات بزيادة نسبة CO_2 في الهواء الارضي .

(3) ينصح بتحميض الاراضي الكلسية للمساعدة في نمو النبات وتغذيته .

4- تأثير الاملاح الذائبة

تؤثر الاملاح الذائبة من خلال تأثيرات ايونات الكالسيوم والبيكاربونات على جاهزية الحديد . وكذلك فإن للصوديوم المتبادل تأثيراً من خلال زيادة قيمة pH التربة .

5- تأثير الرطوبة

اشارت معظم الدراسات الى إن الرطوبة الزائدة في التربة تؤدي الى زيادة جاهزية الحديد . وقد يرجع سبب ذلك لخلق ظروف لاهوائية مما يساهم في زيادة ذوبان مركبات الحديد . . فقد وجد (Chorian et al. 1968) إن نباتات الرز تحتوي على محتوى حديدي عالٍ عندما تنمو تحت ظروف الغمر بالمقارنة بالظروف غير الغدقة . واشار (Cheng et al. 1971) الى إن ارتفاع درجة الحرارة وزيادة محتوى التربة الرطوبي قد ادى الى زيادة محتوى النبات من الحديد والمنغنيز وكميات قليلة من الالمنيوم والمولبديوم . ولكن قد لا يفضل الري الزائد في الترب الكلسية وذلك للأقلال من التحلل المائي لكاربونات الكالسيوم . فقد لاحظ (Boxma, 1972) حدوث الأصفرار في النباتات النامية بالترب الكلسية ذات المحتوى الرطوبي العالي ، وبين ان هذين العاملين لا يحدث تأثيرهما بصورة مباشرة بسبب نقص مستويات الاوكسجين بالتربة لكن بسبب إنتاج مستويات عالية من ايونات البيكاربونات تحت الظروف الرطبة بالتربة . أما (Olamu & Raez, 1974) فقد وجدا اعراض الاصفرار في نبات الشوفان بعد أن نمى في ترب رطبة ومغمورة بالمياه ، إذ ان الاصفرار الناتج كان مرتبطاً في قلة تركيز الحديد والمنغنيز بالنباتات .

6- تأثير اضافة عناصر غذائية أخرى

بين كل من (Burleson & Gunnigham, 1963) أن احد اسباب حدوث اعراض نقص الحديد على النباتات هو أضافة أو وجود المستويات العالية من النايتروجين بصورة نترات nitrate . وفي بحث قام به (Schmidt et al 1973) وجدوا ان محتوى الحديد لاوراق بعض النباتات الاستوائية كان قليلاً عند عدم اضافة الحديد الى المحلول المغذي وقد ظهرت عليها اعراض نقص الحديد ، لكن هذه الاعراض قد إختفت وزاد الحاصل عند اضافة الحديد بمقدار (1) جزء في المليون الى المحلول المغذي وقد أضيف النايتروجين بمعدل 4 مليمكافيء/ لتر لكل معاملة من معاملات الحديد المضافة وبهيئة صورة الامونيوم ولكن بقيت اعراض نقص الحديد عندما استبدلت صورة الامونيوم بصورة النترات وزادت شدة اعراض نقص الحديد عند زيادة مستوى إضافة النايتروجين بصورة النترات الى 8 أو 16 مليمكافيء لكل لتر . كما وجد (Aktas & Egmond, 1980) ان شدة الاصفرار على نبات فول الصويا يزداد بزيادة كمية النترات المضافة . في حين لاحظ (Solov & Golüben, 1980) بأن للتسميد النايتروجيني تأثيراً في زيادة حركة الحديد والمنغنيز بالتربة ، وكذلك يزيد حوالي 3-4 مرات المعدل الطبيعي من محتوى النبات من الحديد لكنه يقلل من هذا المحتوى عند المعدلات العالية بسبب التخفيف .

وقد يرتبط التداخل بين الحديد والنايتروجين بعدة آراء معظمها تؤكد إن اضافة الحديد مع التسميد النايتروجيني يزيد الانتاج اذا كانت الصورة التي اضيف عليها النايتروجين هي الامونيوم أي ان السماد حامضي التفاعل وتصبح الحالة معكوسة عند اضافة النايتروجين بصورة نترات (قاعدي التفاعل) . وإن زيادة التسميد النايتروجيني يؤدي الى زيادة النمو الخضري زيادة معنوية مما يسبب تخفيف محتوى النبات من الحديد .

أما دور الفسفور ، فقد أتضح ان المستويات العالية من الفسفور في بيئة النمو تؤدي الى نقصان في قدرة النبات على امتصاص الحديد وخاصة تحت الظروف المتعادلة والقلوية (Brow, 1956) . وبصورة عامة يعتقد بإن الفوسفات تعمل كعامل مشارك في ترسيب الحديد بهئية مركبات قليلة الذوبان وبهذا تتعرض جاهزية الحديد للتدهور (Brown et al. 1955) .

وقد عزا بعض الباحثين تأثير الفسفور في زيادة نقص الحديد الى تأثيره على توزيع الحديد في اجزاء النبات بالنسبة الى محتوى هذه الاجزاء من الفسفور أي تأثيره على نسبة P /Fe . فقد وجد أن بعض النباتات التي تعاني من الاصفرار

بسبب وجود مستويات عالية من الفسفور وتبين أن تركيز الحديد في انسجة النباتات كان طبيعياً أو اعتيادياً لكن نسبة $\frac{P}{Fe}$ كانت عالية أو اعلى في النباتات المصفرة وهذا ربما كان راجعاً الى ان قدرة النبات على امتصاص الحديد ومسكه يكون قليلاً لارتفاع تركيز الفسفور في النبات . وقد وضح (Watanabe et al 1965) حصول توقف في نمو النباتات وكذلك نقص شديد عند زيادة مستوى الفسفور في المحلول الغذائي من 0.2 الى 0.6 ملي مول عند اضافة الحديد على صورة Fe-EDDHA بمستوى 40 ملي مول ، وقد تم علاج هذا النقص بزيادة مستوى الحديد المضاف من 40 الى 80 ملي مول . ووجد كذلك بأن تركيز الحديد في القمة النامية للذرة لم يتغير بواسطة اضافة مستويات الحديد لكن نسبة $\frac{P}{Fe}$ قد قلت من 158 الى 61 . ويمكن بمد هذا التأثير من خلال الاضطراب الحيوي في خلايا النبات الناتج من عدم التوازن بين احتياج النبات من الحديد والفسفور .

وقد أشارت احدى التجارب الى ان تركيز كل من الحديد والفسفور لجذور نبات الطماطا النامية في المحلول المغذي كانت أعلى بحوالى 8-10 مرات عما هو عليه في القمم النامية ، وهذه فسرت على اساس إن فوسفات الحديد تترسب على أو في داخل الجذور (Ayed, 1970) . وقد أشار (Redisk & Biddulph, 1953) الى ان التداخل بين الحديد والفسفور يؤدي الى حدوث الاصفرار وهذا قد يكون بسبب تكوين معقدات غير متحركة من الفسفور والحديد داخل الجذر مؤدياً الى عدم حركة الحديد الى الاعلى .

وقد ذكر (Bolle Jones, 1955) بأن نباتات البطاطا النامية بمستويات منخفضة من الحديد قد ظهر عليها الاصفرار في وجود كاربونات الكالسيوم أو وجود مستويات عالية من الفسفور أو عندما يكون البوتاسيوم معدوماً أو حدوث نقصان فيه ، وعولج هذا الاصفرار في كل حالة بأضافة مستويات عالية من البوتاسيوم الذي كان يعتقد بأنه يؤدي الى زيادة في استعمال الحديد في تكوين الكلوروفيل ، وقد أيدها في الرأي كل من (Burleson & Gunnighom, 1963) . واشار (Oertli & Opoku, 1974) الى ان امتصاص الحديد من هايدروكسيد الحديديك بداخل اوراق الذرة قد زاد وتحسن في وجود كبريتات البوتاسيوم ، بينما كان لنترات البوتاسيوم تأثير قليل ، وهذا يعزى الى إنخفاض في pH الذي ادى بذلك الى زيادة من الكايتونات الممتصة من K_2SO_4 الذي جعل الحديد اكثر ذوباناً . ان التداخل بين الحديد والبوتاسيوم ليس مقتصراً على مصدر الحديد المعدني فقط بل لدور البوتاسيوم المساعد في زيادة استجابة النبات للحديد (John, 1967) . ومساعدته على أختزال صورة الحديديك داخل النبات الى الحديدوز (Trrolldenier, 1973) .

دور الحديد في النبات واعراض نقصه

يمتص النبات الحديد بصورة ايون الحديدوز ومعقداتة العضوية الذائبة بعد ان يبعد المعقد الخلبي الى محلول التربة . والحديد عنصر متحرك داخل النبات أي انه لا يتحرك من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة . ويعتبر عنصر الحديد ضرورياً جداً في تكوين الصبغة الخضراء ، كما إنه يدخل في تركيب بعض الأنزيمات ومنها الانزيمات المساهمة في عملية التنفس ولهذا فإن للحديدوز دوراً هاماً في عملية التنفس في النبات . وان اهم الانزيمات الخاصة بالتنفس Cytochrome, Peroxidelase, Catalase .

إن اعراض نقص الحديد قد تتشابه مع اعراض نقص المغنسيوم وذلك لكون الاثنين لهما مساهمة فعالة في تكوين الكلوروفيل . تظهر اعراض نقص الحديد في الاوراق الحديثة لكونه عنصراً غير متحرك داخل النبات ولكن اعراض نقص عنصر المغنسيوم تظهر على الاوراق القديمة . وبين (Brown, 1980) بأن النباتات الخضراء تحتاج الى تجهيز مستمر لها من الحديد حتى تنمو وذلك لأن الحديد عنصر غير متحرك . وقد يظهر على النبات الاصفرار بالرغم من وجود نسبة مرتفعة من الحديد لأن النبات يستفيد من الحديد في أنسجته الا أنه في هذه الحالة يكون على صورة غير فعالة للنبات وهي الحديديك لأن النبات يستفيد من الحديد الموجود في صورة حديدوز ولذا يعمل النبات على أختزال الحديديك بمجرد امتصاصه الى حديدوز . وان القدرة الأختزالية تختلف بين انواع النباتات مما يعكس ذلك اختلاف النباتات في قدرتها على امتصاص الحديد الذائب في محلول التربة واستهلاكه .

بين (Neubert et al, 1969) معدلات تركيز الحديد لاربعة وعشرين محصولاً من الحدود التي تظهر عندها اعراض النقص الى التي يظهر بها التأثير السام ، وقد وجد ان تركيز الحديد في حدود (50) جزءاً في المليون أو أقل للمادة الجافة النباتية يظهر عند هذا المستوى اعراض النقص ، واشار الى أن المدى الملائم والكافي يتراوح بين 50-250 جزءاً في المليون من الحديد بأنسجة النباتات . وان اعراض السمية عبارة عن بقع بنية اللون تتوزع وبشكل عشوائي على أوراق النباتات . وتكثر حالة السمية في محصول الرز عندما يكون محتوى اوراقه اكثر من (300) جزء في المليون .

اسمدة الحديد وطرق اضافتها

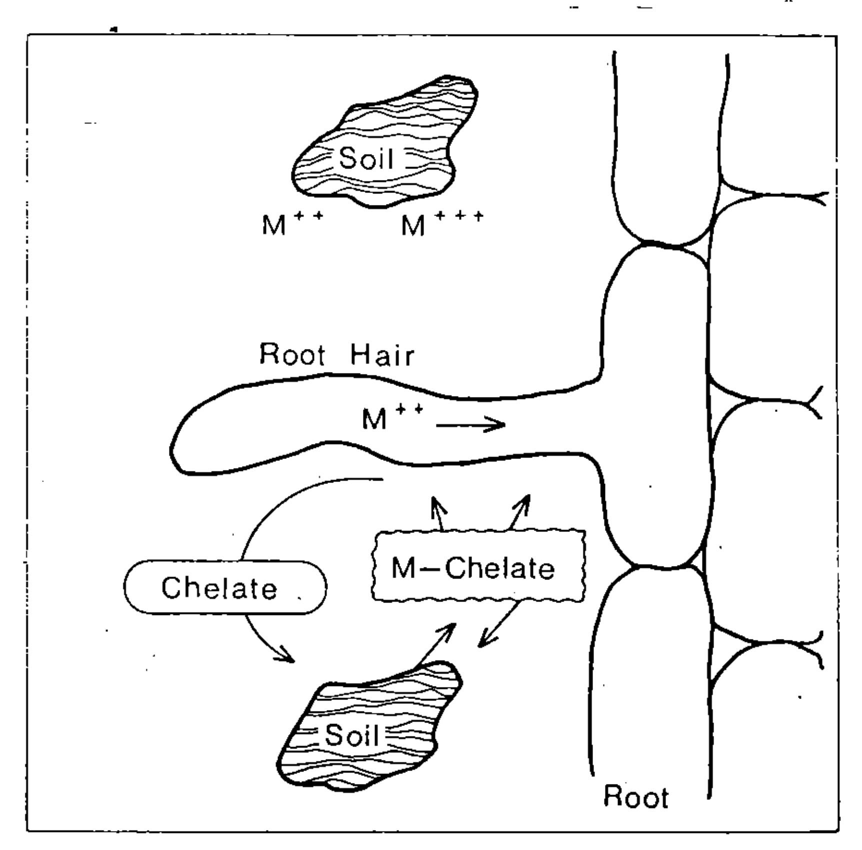
يبين الجدول (3) انواع اسمدة الحديد المعدنية والمخلبية ومحتواها من الحديد . وقد تضاف هذه الاسمدة مباشرة للتربة وقد تضاف في معظم الاحيان بطريقة الرش . وإن لخصائص التربة الفيزياوية والكيمياوية وكذلك لخصائص السماد دوراً هاماً في تحديد طريقة اضافة السماد المفضلة .

جدول (3) اسمدة الحديد المعدنية والمخلبية

المصدر	الصيغة	محتوى الحديد %
كبريتات الحديدوز	$Fe\ SO_4\ l\ 7H_2O$	19
كبريتات الحديديك	$Fe_2\ (SO_4)_3\ 4H_2O$	23
اوكسيد الحديدوز	FeO	77
إوكسيدات الحديدوز	Fe_2O_3	69
كبريتات الامونيوم والحديدوز	$(NH_4)_2\ SO_4.\ Fe\ SO_4\ .6H_2O$	14
ميتافوسفات الامونيوم والحديدوز	$Fe\ (NH_4)\ HP_2O_7$	22
فوسفات الامونيوم والحديدوز	$Fe\ (NH_4)\ PO_4\ .H_2O$	29
الاسمدة المخلبية	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	NaFeEDDHA	6
	NaFeDTPA	10

وتستخدم كبريتات الحديدوز للرش غالباً بتركيز %6-4 معتمداً على نوع المحصول وشدة النقص وتكون كفاءة الاسمدة المخلبية اكبر من كفاءة الاسمدة المعدنية غالباً وبالأخص عند اضافتها للترب الكلسية أو القلوية . وقد يرجع سبب ذلك الى كون الاتحاد بين العنصر والمادة المخلبية يفقد هذا العنصر بعض خواصه الايونية بحيث لا يمكنه الاشتراك في تفاعلات مع مكونات التربة الاخرى فيبقى ذائباً في محلول التربة حتى في درجات pH المرتفعة في حين أن نفس العنصر يترسب تحت هذه الظروف اذا لم يكن متحداً مع المخلبيات وتعتبر مخلبيات الحديد اكثر ثباتاً بالمقارنة مع المركبات المخلبية للعناصر الغذائية الصغرى الاخرى . ويفسر

تأثير المركبات المخلبية في زيادة صلاحية الحديد على اساس أن جذور المحاصيل تمتص الكايتونات الغذائية من المركب المخلي عن طريق التبادل معه تاركة الجزء العضوى في محلول التربة (الشكل 4).



الشكل (4) حركة العنصر الغذائي بواسطة المركب المخلي **(Lindsay, 1974)**.

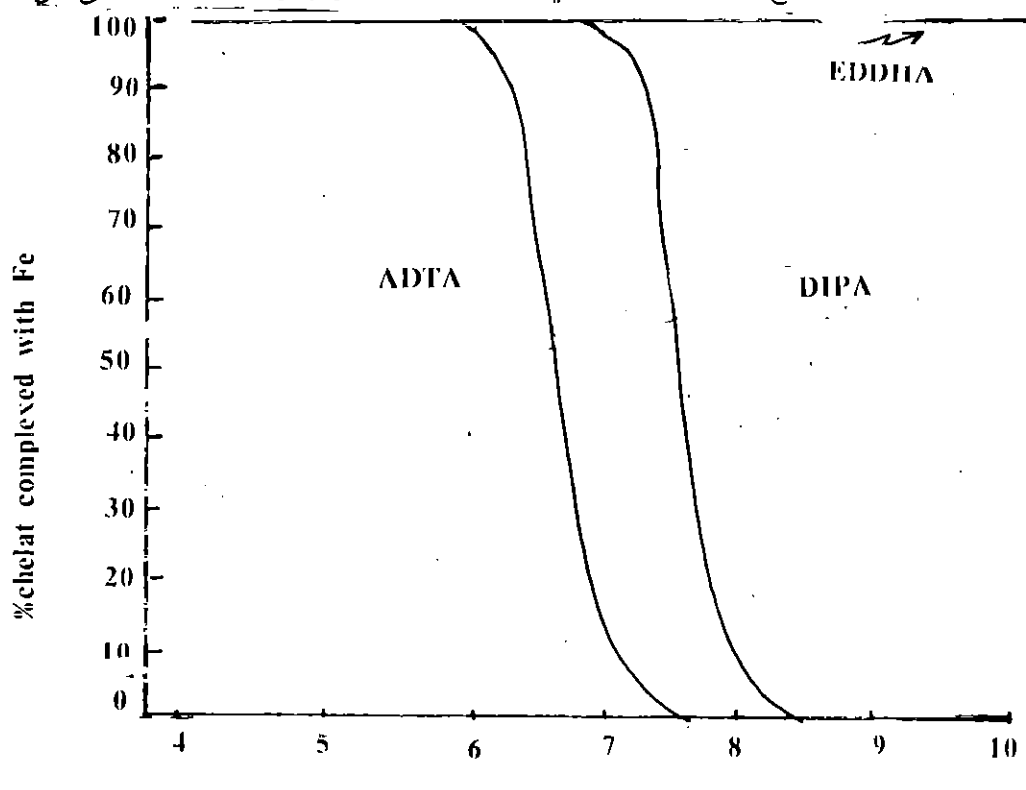
ويترسب على فقد الكايتون من المركب المخلي تهدم البناء الحلقي فيتحد الجزء العضوي مع الكايتونات المختلفة في محلول التربة مع تحرير ايونات H^+ مما يؤدى الى انخفاض الـ pH وبالتالي الى زيادة قابلية مركبات Fe للذوبان وفي نفس اللحظة التي يتحد فيها الجزء العضوي مع كايتورنات محلول التربة فقد يدخل ايون الحديد كمجموعة فعالة تحيط بالكايتون في البناء الحلقي ويتكون مايعرف بالمركبات المخلبية.

وجد (Tiffin and Brown, (1961, 1959) انه عندما يضاف الحديد الى بعض النباتات على شكل (Fe-EDDHA) يحصل أن يمتص الحديد من المركب المخلي عند الجذور تاركاً التركيب المخلي في بيئة النمو، وقد وجد أنَّ هنالك

كميات قليلة جداً من المركب المخلبي تمتصها الجذور . واوضح (Tiffin et al. 1960) إن الدور الاول للحديد المخلبي في تغذية النبات يبدو أنه يؤدي الى جعل الحديد في صورة ذائبة وبالتالي يكون ميسراً وجاهزاً للامتصاص عن طريق الجذور .

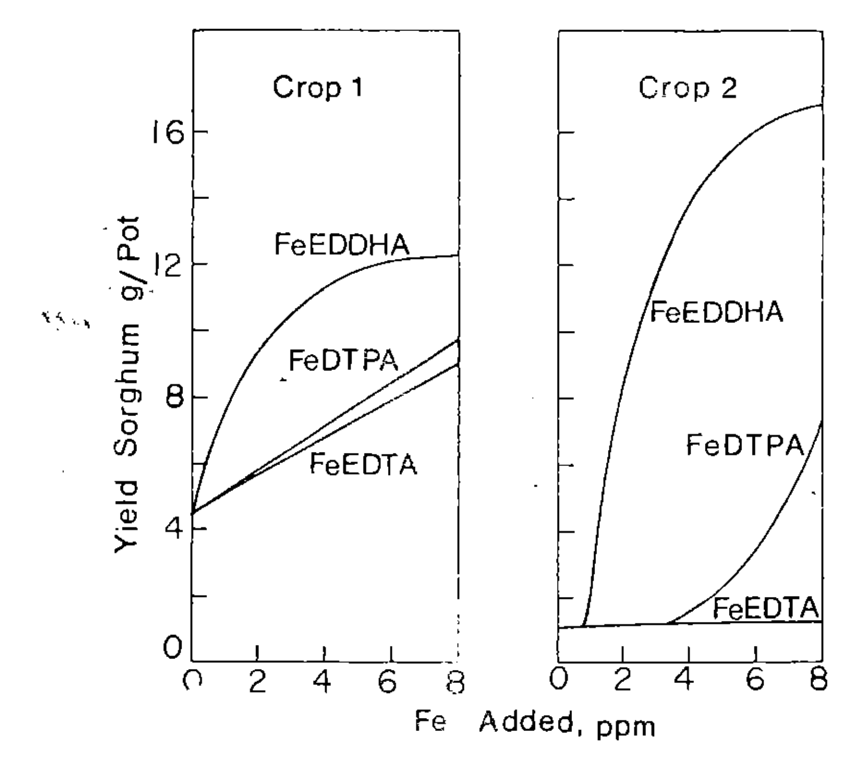
وفي دراسة اجريت لمعرفة سلوك المركبات المخلبية المعدنية FeDTPA, FeEDDHA, FeEDTA بالترب الكلسية وجاهزيتها للنباتات وجد بأن اعلى كمية قد امتصت من قبل النباتات قد حصلت مع FeEDDHA وبدون ظهور أي تأثير سام ، وإن حوالي 65% من الحديد تبقى بصورة ذائبة عند أضافة صورة FeEDDHA (Lindsay, 1974) وقد استنتج بأن هنالك اختلافات في كفاءة المركبات المخلبية المضافة الى الترب الكلسية والترب القلوية .

ويوضح الشكل (5) الذي اورده (Lindsay et al 1967) انه عند ارتفاع pH التربة لاكثر من (6.0) فإن الكالسيوم يحل محل الحديد الثلاثي ليعطي $CaEDTA^{-2}$ مع ترسيب الحديد في صور مركبات مترسبة . وعند pH اعلى من



الشكل (5) ثباتية المركبات المخلبية للحديد المضاف للتربة عند pH مختلفة وتركيز ثابت من الكالسيوم (25×10^{-3}) مول/ لتر .

(7.0) فإن المركب $FeDTPA^{-2}$ يبدأ في اتخاذ نفس المنهج بينما يظل المركب FeEDDHA ثابتاً خلال المدى من (pH) 4-10 . هذه العلاقات المحسوبة بالنسبة للمواد النقية تم اختبارها تحت ظروف التربة ولفترات زمنية متباينة . ولهذا فإن استجابة محصول الذرة البيضاء كانت دليلاً واضحاً على سلوك هذه المركبات في التربة (الشكل ٦)



الشكل (6) تأثير المركبات الخلبية المعدنية للحديد في تصحيح نقص الحديد في الترب الكلسية لمحصولي الذرة البيضاء .

وقد تستخدم اسمدة الحديد المعدنية بالاضافة لاسمدة المركبات المخلبية في معالجة نقص الحديد الناتج بالمحاصيل النامية في الترب الكلسية أو القلوية ، لكن جميع النتائج تؤكد كفاءة اسمدة الحديد المخلبية (Wallace, 1961; Knezek & Maier, 1971) وغيرهم إن الدراسات التي قام بها (Kashirad & Marschner, 1974) عند زراعتها لنبات عباد الشمس والذرة في محلول غذائي بدون حديد أو بحديد معدني أو حديد مخلبي FeEDDHA بتركيز 2 ppm فقد ظهر في النباتين كليهما حدوث اصفرار عند عدم المعاملة بالحديد وكذلك عند اضافة الحديد المعدني . وقد اشار (Tisdale & Nelson, 1975) الى أن اضافة كبريتات الحديدوز للترب الكلسية عموماً غير مؤثر لان هذه الترب تحتوي اكثر من Fe المضاف كسماد وبعدة

مرات والمشكلة هي انخفاض الجاهزية نتيجة ارتفاع الـ pH أو $CaCO_3$ وإن اضافة السماد سرعان مايتحول الى صورة غير جاهزة .

2- البورون Boron

يعتبر عنصر البورون من العناصر الغذائية المهمة للنبات وقد صنف هذا العنصر على اساس انه من العناصر الغذائية الصغرى . يشترك عنصر البورون في العديد من العمليات الفسيولوجية التي يقوم بها النبات . ويوجد هذا العنصر بالترب بصور مختلفة ترتبط غالباً بحالة توازن كيمياوي . وسنحاول في هذا الجزء بيان محتوى التربة من البورون وجاهزيته والعوامل التي تؤثر على جاهزيته . وكذلك دور هذا العنصر في الانتاج الزراعي واعراض النقص والسمية .

البورون في التربة

يتراوح المحتوى الكلي من البورون في الترب من 2-100 جزء في المليون (Swaine, 1955) . ويختلف محتوى الصخور السيليكاتية من البورون اختلافاً كبيراً اذ وجد أن حجر الجير lime stone يحوي على (20) جزءاً في المليون ويحوي الصخر الرملي Sand stone (35) جزءاً في المليون ، إما بالنسبة للصخور الرسوبية فإن محتواها قد يصل الى (100) جزء في المليون (Turekian & Wedopohl, 1961). ومن التحليلات التي قام بها (Taylor, 1964) وجد أن القشرة الأرضية تحوي على (10) جزء في المليون في حين أن الصخور النارية الجراينتية تحوي على (15) جزءاً في المليون والصخور النارية البازلتية على (5) جزء في المليون . وقد اشار (Davies, 1980) الى أن محتوى الترب من البورون الكلي يتراوح بين 4-98 جزءاً في المليون وإن القيم العالية من البورون الكلي تمثل الترب الملحية الجافة . إن محتوى ترب المناطق الجافة وشبه الجافة مرتفعاً عما تحتويه الترب الموجودة في المناطق الرطبة . كما أن محتوى الترب المتأثرة بمياه البحار عالٍ جداً قد يصل الى اعلى من احتياجات النبات . وتعاني الترب الحاضية والعضوية وكذلك الترب الفقيرة بالجبس أو الكلس من نقص البورون وذلك لانخفاض محتوى البورون الكلي في مثل هذه الترب .

صور البورون في التربة

يوجد البورون بالتربة بصورة مختلفة تشكل بمجموعها المحتوى الكلي من البورون بالتربة وهي :

1- صور البورون المعدنية

يوجد البورون إما بهيئة مركبات معدنية مختلفة أو يدخل في تركيب بعض معادن التربة نتيجة للاحلال المتاثل مع ايونات الالمنيوم والسيليكون . وقد حدد (Kravskopf, 1972) اهم مركبات البورون المعدنية المنتشرة في الترب بالآتي :

1- البورات المائية Hydrous borate مثل :

أ ـ $Na_2B_4O_4 . 10H_2O$ Borax
ب ـ $Na_2B_4O_7 . 4H_2O$ Kernite
جـ ـ $Ca_2B_6O_{11} . 5H_2O$ Colemanite
د ـ $Na_2CaB_5O_9 . 8H_2O$ Ulexite

2- البورات اللامائية Anhydrous borate مثل :

أ ـ Mg_2FeBO_5 Iudwigite
ب ـ $Mg_3(BO_3)_2$ Kotoite

واما دخول البورون بالتركيب المعدني فإنه يؤدي الى انتشاره في مختلف الترب . فقد اشار (Wedepohl, 1972) الى وجود اكثر من ثلاثين معدن يحتوي على بورون وان اكثرها سيادة وشيوعاً هو معدن tourmaline الذي يحوي على (3-4% بورون) . وتعتبر صور البورون في المركبات المعدنية او التركيب المعدني غير جاهزة للامتصاص المباشر مالم يتحرر البورون ويصبح ذائباً في محلول التربة . وتعتبر صور البورات المعدنية (الداخلة في التركيب المعدني للمعادن) من أقل مصادر البورون تجهيزاً لمحلول التربة وذلك لقوة ارتباطه في التركيب المعدني .

2- البورون الممدص (الممتز)

يرتبط البورون بغرويات التربة كيمياوياً مما يجعله بعيداً عن محلول التربة . وقد ينظر الى صور البورون الممدصة على انها من الصور الجاهزة للنبات والمرتبطة في معظم الاحوال بحالة توازن مع صور البورون الذائبة في محلول التربة .

يرتبط البورون اما بهيئة حامض البوريك او بهيئة ايون البورات $B(OH)_4^-$ مع معادن وغرويات التربة المختلفة ، ويكون الارتباط مع :

أ ـ الحواف المكسورة لمعادن سليكات الألمنيوم
ب ـ الاكاسيد والهايدروكسيدات الحرة مثل هايدروكسيد الالمنيوم والحديد .
جـ ـ هايدروكسيد المغنيسيوم .

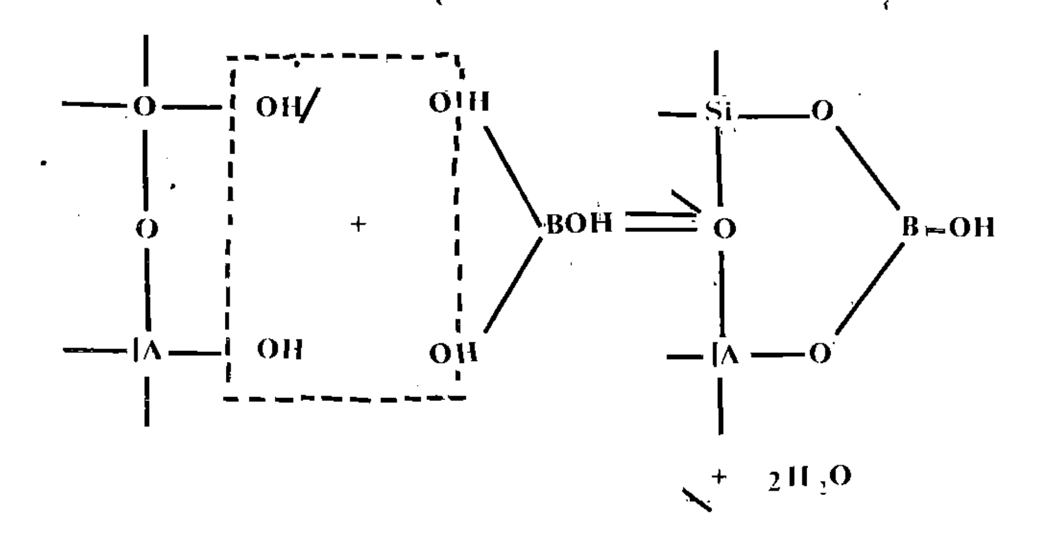
يحصل الامدصاص للبورون على سطح معادن سليكات الالمنيوم عندما تكون شحنة سطح المعدن موجبة وبهذا يمكن ان نتوقع عدم سيادة هذه الحالة من الامدصاص الا في ظروف الوسط الحامضي . وتعتبر الاكاسيد والهايدروكسيدات الحرة اكثر غرويات التربة مسؤولة عن امدصاص البورون . ويحصل الامدصاص وفقاً للحالتين التاليتين كما وصفها (Davis, 1980)

1) M(OH)–O–M(OH)(OH) + $B(OH)_4^-$ ⇌ M(OH)–O–M–O–B(OH)$_3$ + H^+ + OH^-

اي أن هذه الحالة عبارة عن تبادل بين البورات وايونات الهايدروكسيد .

2) M(OH)–O–M(OH)(OH) + $B(OH)_4^-$ ⇌ M(OH)–O–M(O)(O)>B(OH)(OH)$^-$ + $2H_2O$

وفي هذه الحالة يتكون معقد يعرف باسم borate-diol complex . اما ميكانيكية الامدصاص بواسطة معادن الطين فيمكن وصفها كالآتي :



وينتشر امدصاص البورات بواسطة اكاسيد المغنيسيوم في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة وقد يتطور هذا الامدصاص ليتكون مركب معدني عبارة عن ferromagnesium minerals .

3- البورون في المادة العضوية

يوجد البورون على صورة معقدات عضوية كما اشار الى ذلك (Noakes & Hood, 1961) مما تساهم هذه المعقدات على انتشار هذا العنصر في افاق التربة . يرتبط أيون البورات مع المادة العضوية وسنحاول لاحقاً بيان تأثير محتوى الترب من المادة العضوية ونوعها على صورة معقدات البورون العضوية .

4- صور البورون الذائب في محلول التربة

يعتبر البورون الذائب في محلول التربة من اهم صور البورون الجاهزة مباشرة للنبات . وهذا بالطبع يتأثر بخصائص التربة الفيزياوية والكيمياوية . فقد اشار (Satayanarayan, 1958) الى ان محتوى البورون الذائب في الترب الصحراوية مرتفعاً ويتراوح من 2.6-12.6 جزء في المليون. وفي بعض الترب يتراوح محتواها من 3.4-7.2 جزء في المليون وقد وصل محتوى بعض نماذج الترب بين 0.2-1.5 جزء في المليون اي بمعدل 0.65 جزء في المليون . ويوجد البورون في محلول التربة بصورة حامض البوريك H_3BO_3 و $H_2BO_3^-$ بالاضافة الى الاشكال المتأينة الاخرى مثل $B_4O_7^{2-}$ الذي يتكون من تحلل حامض البوريك كالآتي :

$$4H_3BO_3 \rightleftharpoons B_4O_7^{2-} + 2H^+ + 5H_2O$$

ويعتبر حامض البوريك اكثر الصور الذائبة انتشاراً ، رغم كون هذا الحامض ضعيفاً ويتطاير حتى في درجات الحرارة المنخفضة . وقد لاحظ (Nies & Compbell, 1964) أن ايون البورات $B(OH)_4^-$ اكثر تواجداً عند وجود تركيزات من حامض البوريك اقل من (0.1 مول) بينما في التركيزات الاكثر من (0.5 مول) فأن ايون $B_4O_7^{2-}$ هو الاكثر شيوعاً في محلول التربة .

ينتشر البورون في الترب القاعدية بهيئة مركبات (بورات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم) عالية الذوبان مما تساهم في رفع تركيز البورون في محلول التربة لدرجة السمية .

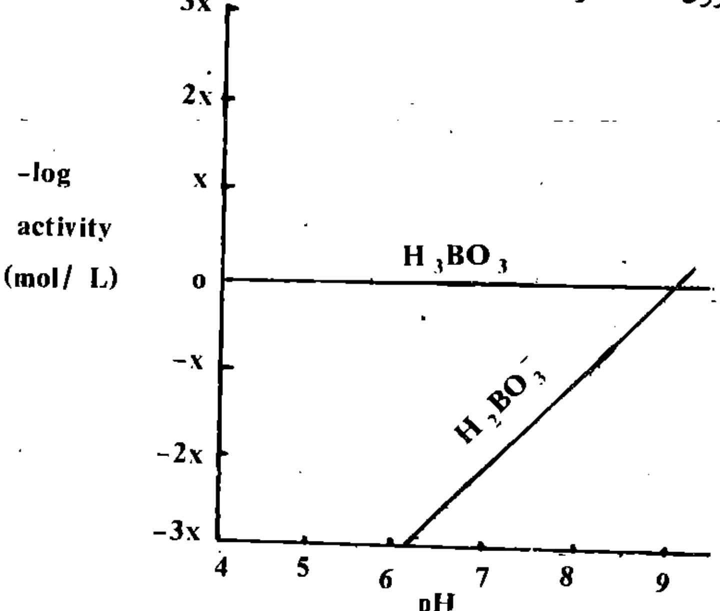
العوامل التي تؤثر على جاهزية البورون

هنالك العديد من العوامل التي تؤثر على جاهزية البورون وتحد من قابلية التربة على التجهيز به ومن هذه العوامل : ـ

لاحظ (Berger & Truoy, 1945) ارتباط جاهزية البورون مع قيم pH اذ وجد أن جاهزية البورون تزداد عند رفع قيم pH التربة من 4.7 الى 6.7 بينما تقل هذه الجاهزية في الـ pH المرتفع (7.1-8.1) . كما لاحظ (Olsen & Berger, 1946) في دراستهم على العوامل المؤثرة على تثبيت البورون ان القلوية لها تأثير كبير في القدرة التثبيتية للبورون بواسطة الترب المختلفة . كما اشار (Overstreet & Deen, 1960) الى ان مسك البورون من قبل التربة يكون قليلاً في الترب الحامضية وسرعان مايرتفع قوة المسك في مجال من pH (6-10) وتحدث عملية التثبيت للبورون بصورة سريعة وعكسية . كما أوضح (Troug, 1953) ان كمية البورون الموجودة في التربة على صورة متبادلة تكون قليلة جداً وسرعان ماتتغير الى صورة بطيئة او صعبة الصلاحية عند وجود القلوية المعتدلة وقد تتحول الى صورة معتدلة الصلاحية أو جاهزة وذلك في وجود القلوية المرتفعة . وقد اكدت الدراسات التي قام بها (Doneen et al. 1968) حدوث نقص في البورون الذائب مع زيادة الكمية المثبتة في التربة بزيادة درجة تفاعل التربة ..

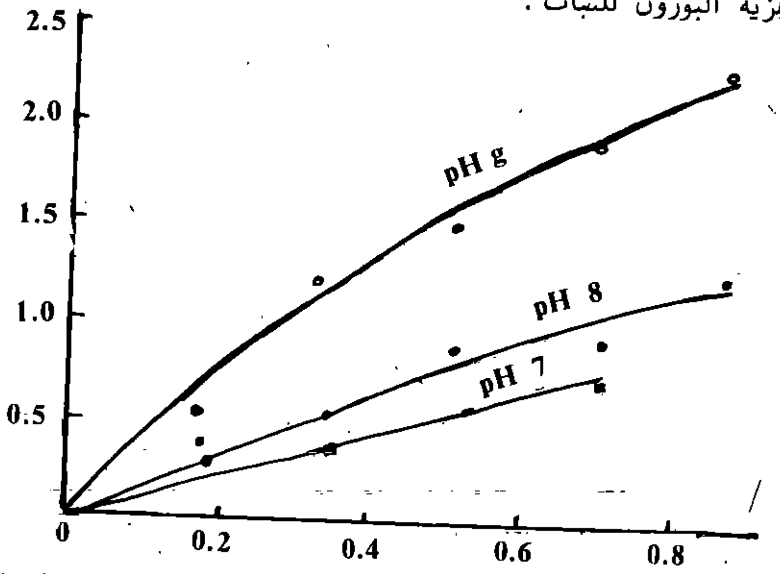
وتتأثر طبيعة الصورة السائدة في محلول التربة pH التربة وتعتبر صورة حامض البوريك المتعادلة هي السائدة حتى pH = 9.2 ولهذا فان اضافة الاسمدة التي تحتوي على البورون مثل اسمدة البوركس ($B_4O_7^{-2}$) قد تتحلل في النهاية الى حامض البوريك . أما الصورة $H_2BO_3^-$ فإنها تسود في محلول التربة في ظروف القلوية العالية (pH اكبر من 9.2) وان تركيز $[H_2BO_3^-]$ يزداد مع ارتفاع pH

التربة (الشكل 1) . وقد حدد (Lucas & Knozek, 1972) المدى الامثل لجاهزية البورون عند درجة تفاعل (6-6.8) لمعظم النباتات .



الشكل (1) العلاقة بين pH الوسط واذابة صور البورون في محلول التربة (Lindsay) .

وقد درس (Keren et al, 1985) العلاقة بين الكمية النشطة من البورون في محلول التربة والكمية الممدصة بواسطة التربة عند قيم pH مختلفة (الشكل 2) . وان زيادة pH التربة يؤدي الى زيادة امدصاص البورون وهذا يؤثر ايضاً على جاهزية البورون للنبات .



الشكل (2) العلاقة بين الكمية النشطة من البورون في محلول التربة والكمية الممدصة على سطح التربة عن قيم pH مختلفة .

وقد اكد (Wear et al. 1962) ان زيادة pH التربة يؤدي الى خفض في كمية البورون الممتصة وكذلك الذائبة في محلول التربة .

2- تأثير المادة العضوية

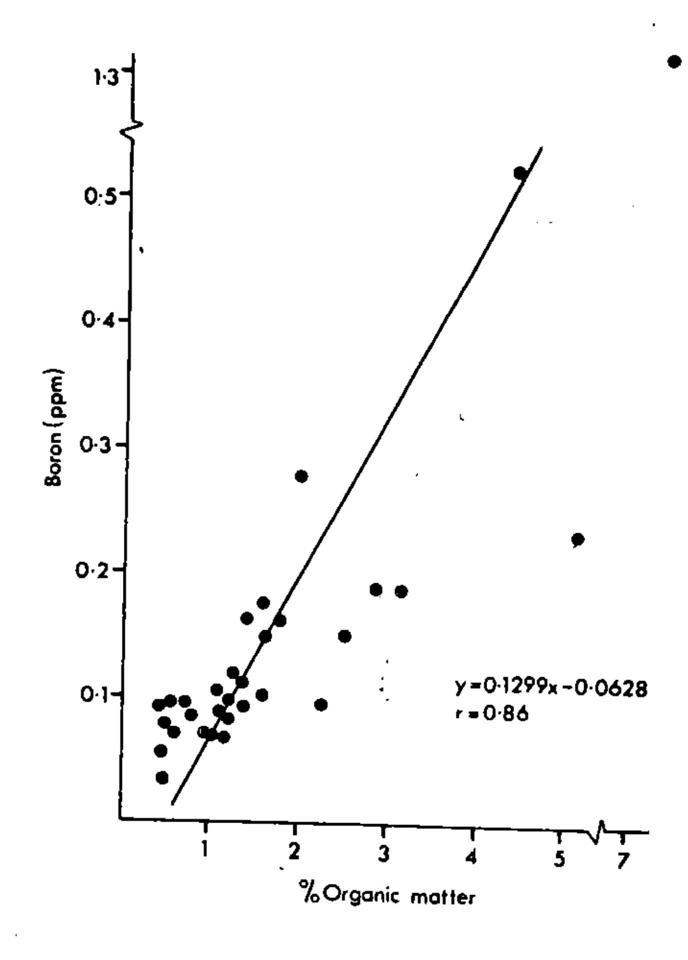
تلعب المادة العضوية دوراً رئيسياً بالتأثير على جاهزية البورون فقد أظهرت الدراسات التي قام بها (Woodbridge, 1940) وكذلك (Coleman, 1945) ببعض ترب المناطق الرطبة بأن البورون الجاهز يمسك بواسطة الجزء العضوي . واشار كذلك (Olsen & Berger, 1946) الى أن اكسدة المادة العضوية بواسطة بيروكسيد الهايدروجين زاد البورون الجاهز وهذا ناتج من تحرر البورون من المادة العضوية ووجد ايضاً أن القدرة التثبيتية للتربة قلت بعد الاكسدة . وقد ذكر (Berger & Trougs, 1945) إن للمادة العضوية تأثيراً اكبر في الترب الحامضية على جاهزية البورون من تأثير الـ pH . وبين (Stepanova, 1944) إن البورون لا يكون مركبات غير ذائبة مع المادة العضوية وبالأخص في الوسط الحامضي جداً عندما يكون الـ pH مساوياً الى 2% فإن 6% من البورون المضاف قد يترسب بواسطة المادة العضوية . وقد لاحظ كل من (Page & Paden, 1954) إن زيادة محتوى الترب الحامضية بالمادة العضوية يؤدي الى زيادة جاهزية البورون (الشكل 3) بسبب تكوين معقدات ذائبة وإن هذا التأثير اكبر من تأثيرات pH التربة وكذلك قوام التربة .

وقد يرتبط البورون بالجاميع الفعالة للمواد الدبالية كالجاميع الكاربوكسيلية والهايدروكسيلية مكوناً معقدات عضوية مختلفة بعضها غير ذائبة . وقد ينطلق البورون من معقداته العضوية بعد عملية التحلل بفعل احياء التربة واهم هذه المعقدات هي : ـ

```
==C ——— O \
           B - OH
==C ——— O /
```

وكذلك :

```
[ ==C ——— O \     / O ——— C ==  ]
             B                    H+
[ ==C ——— O /     \ O ——— C ==  ]-
```



الشكل (3) العلاقة بين محتوى الترب الحامضية من المادة العضوية وجاهزية البورون (Page & Paden, 1954)

ويزداد ارتباط البورون بالمجاميع الفعالة مع زيادة محتوى التربة من المادة العضوية وزيادة معدل التحلل وهذا يعني أن لـ pH التربة دوراً مساهماً في زيادة معدل تكوين المعقدات العضوية المعدنية للبورون . ولهذا فإن للمادة العضوية دوراً حافظاً للبورون في pH التربة المرتفع حيث تقيده وتمنع حركته وجاهزيته الا اذا تعرض لعملية التفسخ . أما دور المادة العضوية في الترب الحامضية فانها تساهم في زيادة جاهزية البورون من خلال تكوين معقدات ذائبة .

3- تأثير كاربونات الكالسيوم

لقد أشار (Cook & Miller, 1939) الى أن وجود كاربونات الكالسيوم وكذلك كاربونات المغنيسيوم لها تأثير على تثبيت البورون وعرقلة جاهزيته لمحصول فول الصويا ، بينما لا تؤثر كاربونات الصوديوم على الرغم من ارتفاع pH التربة نتيجة للاضافة . وقد يعزى سبب ذلك الى قدرة الكاربونات المذكورة على تثبيت البورون . وقد اوضح (Ferguson & Wright, 1940) أن تثبيت البورون كنتيجة لاضافة الكلس يتم بأحدى الطرق الآتية : —

(1) تحويل البورون الى صورة قليلة الذوبان .

(2) مساهمة الكلس في زيادة pH التربة وبذلك يحد من امتصاص البورون من قبل جذور النبات .

(3) ينشط الكلس نمو الأحياء الدقيقة مما يؤدي الى وجود منافسة بين الاحياء الدقيقة والنباتات على البورون .

وقد اشار (Hatcher et al. 1967) الى أن اضافة الكلس الى تربة حامضية يؤدي الى زيادة امدصاص البورون بمقدار الضعف مقارنة بتلك التربة التي لم يصنف لها الكلس .

وقد أكدت نتائج (Scheffer & Welte, 1955) إن زيادة محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم يؤدي الى زيادة اعراض نقص البوزون على محصول البنجر السكري (جدول 1) وإن زيادة pH التربة لها نفس التأثير .

وعند دراسة العلاقة بين تركيز الكالسيوم في محلول التربة وجاهزية البورون . وجد (Reeve & Shive, 1944) إن وجود الكالسيوم ادى الى انخفاض سمية التركيزات المرتفعة من مستويات البورون بدرجة ملحوظة وإن نمو النباتات يكون طبيعياً عندما يتواجد اتزان بين الكميات المتصة من كل من الكالسيوم والبورون . وقد اكد (Jones & Scareth, 1944) هذه العلاقة بين الكالسيوم

والبورون واوضح ان دراسة النسبة بين الكالسيوم الى البورون Ca / B في الانسجة النباتية تعطي مدلولاً دقيقاً عن الاتزان الحيوي لهذين العنصرين في النبات . وقد وجدا ان هذه النسبة تبلغ حداً 100:1 في المبنجر السكري ، 1200:1 في التبغ ، 500:1 في نباتات فول الصويا . واكد (Fox, 1968) إن التركيز العالي من الكالسيوم أو ارتفاع درجة تفاعل التربة يؤدي الى انخفاض معدل امتصاص البورون .

جدول (1) تأثير pH التربة والكاربونات على نسبة عدد النباتات السليمة والميتة والمصابة من محصول البنجر السكري

pH	كاربونات %	النسبة المئوية لمحصول البنجر السكري		
		سليمة	مصابة	ميتة
6.7	0.1	100	0	0
7.0	0.1	99	1.0	0
7.5	0.3	46	40	14
8.1	14.4	0	25	75

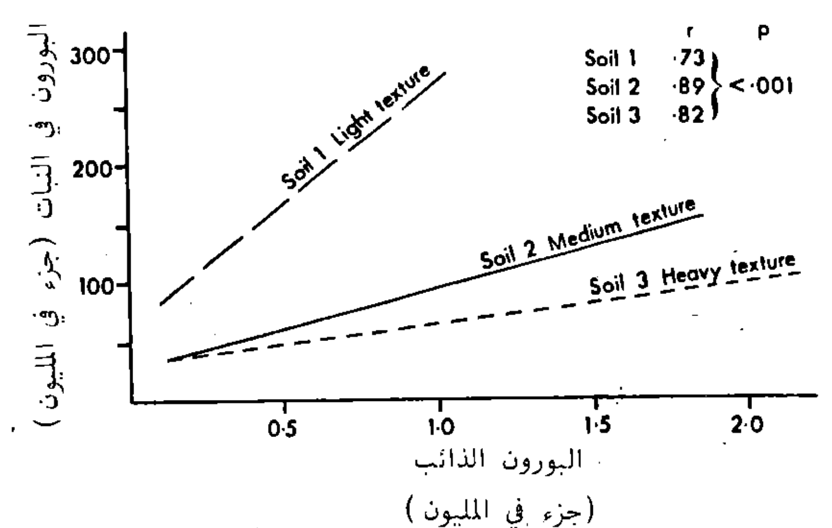
4- تأثير اكاسيد الحديد والالمنيوم

يتعرض البورون المضاف بواسطة مياه الري أو كأسمدة الى امدصاص بواسطة اكاسيد الحديد والالمنيوم . فقد اشار (Hatcher et al 1967) في دراستهم على امدصاص البورون الى أن غرويات التربة مثل هايدروكسيد الالمنيوم هي المسؤولة عن مسك ايون البورون بالتربة . في حين اكد (Sims & Bingham, 1967) إن سبب احتفاظ المعادن السيليكاتية للبورون يكون نتيجة لوجود مركبات الحديد والالمنيوم الموجودة في التربة . كما بين الباحثان نفساهما (1968) أنَّ امدصاص البورون على اكاسيد الحديد والالمنيوم هما اهم ميكانيكية تحكم ذوبان البورون في الترب الحامضية .

5- تأثير نسجة التربة

لقد أوضح (Berger, 1949) إن الترب الخفيفة النسجة الواقعة في المناطق الرطبة تحوي على كميات أقل من البورون الجاهز في طبقة الحرث مقارنة بالترب

الغرينية والطينية المزيجية الخفيفة الحموضة . وقد بين (Kubota et al. 1949) إن الترب الرملية تحتوي على بورون جاهز بكميات أقل مما تحتويه الترب ذات القوام الثقيل وإن تأثير النسجة يكون أقل في تأثيره على جاهزية البورون اذا قورن بكل من المادة العضوية والـ pH . وقد اوضح (Laucas & Knezek, 1977) إن الترب الخشنة النسجة وذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية تميل الى امتلاك البورون الجاهز بكمية قليلة . والنتائج التي توصل اليها (Wear & Patterson, 1962) تؤكد أن محتوى نباتات الجت من البورون تكون عالية اذا زرع في تربة رملية بالمقارنة مع محتوى النباتات المزروعة في تربة ناعمة النسجة (الشكل 4) . وهذا يؤكد طبيعة العلاقة بين امتصاص البورون من قبل النبات ونسجة التربة وكذلك حركة البورون العالية في الترب الخشنة النسجة بالمقارنة مع حركته في الترب الناعمة . ولهذا السبب نجد أن محتوى الترب الرملية من البورون الجاهز أقل من محتوى الترب ذات القوام الثقيل التي تحتفظ بالبورون وتقيد حركته .



الشكل (4) العلاقة بين البورون الذائب في محلول التربة ومحتوى النبات من البورون النامي في ترب مختلفة النسجة .

6- تأثير الرطوبة

بصورة عامة فإن جاهزية البورون تقع عند ظروف الجفاف فقد وجد (Olsen, 1947) أن تجفيف التربة بعد اضافة البورون يزيد من كمية البورون المثبتة وان هذه الزيادة تكون كبيرة في الترب الكلسية مقارنةً بالترب غير الكلسية وعند

تجفيف التربة على درجة 60°م كانت الكمية المثبتة اكبر من الكمية المثبتة عند درجة 20°م . وقد اكد كل من (Barbier & Cabnnes, 1955) ان تثبيت البورون يحدث بدرجة كبيرة في الترب الطينية عند تعرضها لعمليات الترطيب والتجفيف المتعاقبة ووجد ايضاً (Metwally et al. 1974) زيادة السعة الامدصاصية لمعلقات هايدروكسيد الحديد والالمنيوم والسيليكا عند اضافة البورون اليها وذلك من خلال تعرضهم لعمليات الترطيب والتجفيف . وبهذا يمكن القول بأن البورون يرتبط بقوة بغرويات التربة في المناطق الجافة الاستوائية وشبه الاستوائية وقد اكد هذا كل من (Page & Paden, 1954) و (Tollenaar, 1966) .

البورون ونمو النبات

يمتص البورون من قبل النباتات بهيئة حامض البوريك وان ميكانيكية الامتصاص غير واضحة لحد الآن . ويعتبر عنصر البورون مهماً في تغذية النبات لمساهمته في تكوين البروتين والاحماض النووية وكذلك لمساهمته في العمليات الحيوية التي يشترك بها الفسفور . لذا فإن نقص البورون يؤدي الى تجمع النترات في النبات ويؤثر ايضاً على الانتاج . ان وفرة المستوى المناسب الجاهز في البورون يساعد على زيادة الانتاج من خلال زيادة تمثيل صورة النايتروجين المعدنية المتصة الى صور عضوية وكذلك زيادة مساهمة الفسفور في زيادة نشاط العمليات الحيوية التي يشترك بها . فقد اشار (Mortved & Osborn, 1965) الى ان نمو الشوفان قد يتأثر عند اضافة تركيزات عالية من البورون (بين 2-5) جزء بالمليون وان أقصى تأثير ظهر بصورة واضحة عند تركيز (10) جزء في المليون وذلك عند نموها في ترب ـر ـ تفاعلها (pH = 6.3) ومضاف اليها الكلس . تتطابق هذه النتائج مع ماذكره (Gupta, 1970) من حدوث زيادة في محصول المادة الجافة لنباتات البرسيم وكانت الزيادة واضحة حتى مستوى (1) جزء في المليون بينما إنخفض في التركيزات المرتفعة من (4 ، 8) جزء في المليون وفي دراسته على نباتات الحنطة والشعير (Gupta, 1971) ذكر ان محصول المادة الجافة يزداد لكل منها بزيادة مستويات الاضافة حتى (1) جزء في المليون . كما وجد (Abbaas, 1977) ان زيادة كمية البورون الجاهز الى حد (1) جزء في المليون يؤدي الى زيادة الانتاج ولكن تنخفض الانتاجية عند اضافة 2 جزء في المليون . وهذا يتفق مع ماذكره (Murtatha, 1982) عند دراسته لاستجابة نباتات الشعير المزروع في الترب العراقية للاضافات المتزايدة من البورون إذ اكدت النتائج ان استجابة النباتات النامية كان اكبر مايمكن عند مستوى اضافة (1) جزء في المليون وقلة استجابتها في مستويات الاضافة المرتفعة (3 ، 5) جزء في المليون .

.اعراض نقص وسمية البورون

يعتبر عنصر البورون غير متحرك داخل النبات لذا فإن اعراض النقص تظهر في الاوراق الحديثة. إن نقص البورون يؤدي الى عدم اكتمال البروتين وتكوين الازهار والنضج يتأخر وكذلك يؤثر على تطوير الجذور والاوراق القديمة تكون هشة وفي طريقها للموت . وان نقص البورون يعرقل تكوين السنابل في محاصيل الحبوب . وتتلون الاوراق الحديثة التي تعاني من النقص بلون أخضر – مزرق مائل للأسوداد وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظام نموها . وقد لاحظ (Chapman, 1975) ان أنواع الترب التي قد يكثر فيها اعراض نقص البورون اثناء زراعتها هي : –

(1) الترب ذات المحتوى المنخفض من البورون كما هو الحال في الترب المشتقة من الصخور النارية الحامضية أو الرواسب المتكونة حديثاً كما أشار بذلك (Mitchell, 1955) .
(2) الترب ذات الطبيعة الحامضية والتي فيها جزء كبير من البورون الاصلي قد فقد خلال عمليات الغسيل كما أشار بذلك (Walsh & Golden, 1952) .
(3) الترب الرملية الخفيفة كما اشار بذلك (Page & Paden, 1954) .
(4) الترب العضوية أو peat الحامضية كما اشار بذلك (Chapman & Mackay, 1957) .
(5) الترب القلوية وبصفة خاصة تلك الترب الخالية من الـ lime كما اشار بذلك (Olsen & Berger, 1947) .
(6) الترب التي تروى بمياه ذات محتوى منخفض من البورون التي توجد فيها الاملاح أو يحدث ترسيب للكاربونات كما اشار بذلك (Roach & Bolas, 1940) .
(7) الترب ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية كما اشار بذلك (Wallace, 1951) .

وتختلف قدرة المحاصيل الزراعية لحساسيتها لنقص البورون . فقد صنفت المحاصيل الزراعية الى ثلاث مجاميع وفقاً لقدرتها على الصمود لمقاومة تأثير التركيزات الواطئة من البورون . فمحصول البنجر السكري والبقوليات واشجار الفاكهة تعتبر من المحاصيل الحساسة جداً لنقص البورون . وفي نفس الوقت فإن احتياج هذه المحاصيل للبورون يكون عالياً . في حين يكون احتياج محاصيل الحبوب وبعض البقوليات وكذلك الحمضيات قليلاً جداً للبورون أما محاصيل البصل والتبغ والبطاطا والقطن والطماطا فإنها متوسطة الاحتياج . وقد اشار (Martin

(& Matocha, 1973) الى ان الحد الحرج لاحتياج معظم المحاصيل الزراعية من البورون يقع بين 10 الى 25 جزءاً في المليون . في حين اشار (Syworotkin, 1958) الى اختلاف محتوى النباتات من البورون (جدول 2) .

جدول (2) محتوى مختلف النباتات من البورون (بورون ـ جزء في المليون من المادة الجافة) .

اسم المحصول	المحتوى	اسم المحصول	المحتوى
البرسيم	25-40	التبغ	30-20
الشعير	4-2	الطماطا	25-15
الذرة الصفراء	10-4	الحنطة	5-3
البطاطا	20-10	البنجر السكري	50-20

ان زيادة تركيز البورون بالتربة يؤدي الى زيادة امتصاصه وبالتالي ظهور اعراض السمية التي تتمثل بأحتراق في قمم الاوراق وظهور اللون الاصفر الشاحب الذي ينتشر بين العروق الجانبية متجهة الى العرق الوسطي . وتنتشر في الترب المبينة ادناه خصائصها اعراض السمية على النباتات النامية بها :

(1) الترب المشتقة من الرواسب البحرية كما اشار بذلك (Penmand & Mcalpin, 1949) .
(2) ترب المناطق الجافة كما اشار بذلك (Whetston **et al**, 1942) .
(3) الترب المشتقة من مادة اصل غنية بالمعادن الحاوية على البورون كما اشار بذلك (Graham, 1957) .
(4) الترب المشتقة من الرواسب الجيولوجية الحديثة كما اشار بذلك (Picruccini, 1950) .

تكثر اعراض السمية في المناطق الجافة بالأخص عندما تروى بماء ري يزيد تركيز البورون عن (1) جزء في المليون وان محتوى المادة الجافة المصابة بالتسمم قد يصل الى حدود اكثر من 100 جزء في المليون وقد يصل محتوى بعض الحشائش المصابة باعراض السمية الى حدود 270 الى 570 جزء في المليون .

ويمكن معالجة نقص البورون باضافة اسمدة البورون المختلفة (جدول 3) ويعتبر السماد بورات الصوديوم من اكثر الاسمدة شيوعاً في معالجة نقص البورون وان

الطريقة الشائعة في المعالجة هي الرش او الاضافة المباشرة للترب والتي تقع بحدود 0.24-2.4 كغم بورون/ هكتار حسب الحاجة . وقد وجد (Foroughi et al. 1973) ان الكمية من 50 الى 200 غرام بورون لكل شجرة تكون مناسبة لتصحيح اعراض نقص البورون في اشجار البرتقال عند الاضافة الى التربة مباشرة وان الكمية من 15 الى 60 ملغم بورون لكل شجرة تكون مناسبة لتصحيح اعراض نقص البورون عند الاضافة بطريقة الرش .

جدول (3) اسمدة البورون ومحتواها (Gupta, 1979) .

اسم السماد	الصيغة	محتوى البورون (%)
بورات الصوديوم (Borax)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	11
حامض البوريك (Boric acid)	H_3BO_3	17
صوديوم تترابوريت (Sodium tetraborate)	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	14
صوديوم بنتابوريت (Sodium pentaborate)	$Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10H_2O$	18
بورات _ 65 Borate-65	$Na_2B_4O_7$	20

ويمكن معالجة زيادة تركيز البورون في الترب ، ففي حالة ارتفاع محتوى البورون في مياه الري فانه يتم ايجاد مصدر مائي آخر ذي محتوى منخفض من البورون او تتم زراعة المحاصيل التي تتحمل التركيزات المرتفعة من البورون . ويمكن معالجة زيادة تركيز البورون ايضاً باستخدام الاسمدة النايتروجينية وبصفة خاصة نترات الكالسيوم اذ تمتاز بكفاءة في معالجة سمية البورون . كما ان اضافة الجير بكميات معتدلة الى التربة يساعد في معالجة اثار السمية بفعالية .

3- المولبيدنيوم Molybdenum

يعتبر المولبيدنيوم من العناصر الغذائية الصغرى والمهمة في تغذية النبات . فقد وجد هذا العنصر في التربة وانسجة النبات . ويعتبر (Meullen, 1932) اول من اكتشف وجود كميات من هذا العنصر في التربة والنبات . ومن خلال نتائج

اختبار (Arnon & Stout, 1939) على استجابة محصول الشعير والطماطة يتم تحديد اهمية هذا العنصر في تغذية النبات . وقد أيد (Piper, 1940) بعد تجربة قام بها على محصول الشوفان اهمية هذا العنصر كعنصر غذائي يعتبر عنصر المولبيدنيوم ضرورياً لتثبيت النايتروجين الجوي للبكتريا التكافلية مع النباتات البقولية (Evans et al., 1950) في حين اشار كل من (Mulder, 1948) و (Wilson, 1948) الى ان عنصر المولبيدنيوم يكون ضرورياً لاختزال النترات في النباتات غير البقولية . في حين اشار (Miller, 1955) الى ضرورة وجود المولبيدنيوم في النبات لأجل تمثيل النترات وتحويلها الى احماض امينية وبروتينات .

المولبيدنيوم في التربة

يوجد عنصر المولبيدنيوم بكميات قليلة في التربة فقد ذكر (Bear, 1965) بان معدل ماتحتويه القشرة الارضية بشكل 2.3 جزء في المليون في حين اشار (Wodephl & Turekian, 1961, Kovda, 1964) بأن معدل ماتحتويه القشرة الارضية يتراوح من 1-2 جزء بالمليون . واشار (Evans, 1951) الى أن الصخور الحامضية تحتوي على كميات من المولبيدنيوم اكثر مما تحويه الصخور القاعدية . في حين وضح كل من (Aubert, 1976; Charles, 1955) بان محتوى الصخور النارية على العموم اكثر من محتوى الصخور المتحولة والرسوبية . وقد اشار (Pines, 1963) الى ان الترب المختلفة النسجة تحتوي على كميات مختلفة من المولبيدنيوم فقد بين (Evans & Purivs, 1951) بأن معدل ماتحويه الترب كان 1.44 جزءاً في المليون بحيث تراوحت الكميات من 0.8 جزء في المليون في الترب الرملية الى 3.3 جزء بالمليون في الترب المزيجية كما ان الظروف المناخية تلعب دوراً في محتوى الترب من المولبيدنيوم ، فقد اشار (Aubert, 1976) الى ان ترب المناطق القاحلة وشبه القاحلة تمتاز بكونها ذات محتوى عالي من المولبيدنيوم كما ان الترب الملحية تمتاز بكونها غنية بالمولبيدنيوم الكلي .

صور المولبيدنيوم في التربة

يوجد المولبيدنيوم بعدة صور تمثل بمجموعها المولبيدنيوم الكلي وهي : -

1- صور المولبيدنيوم في المعادن

يوجد المولبيدنيوم على شكل معادن أولية في الصخور واهم هذه المعادن الآتي : -

1- Molybdate powllite ($CaMoO_4$)

2- Molybdinite (MoS_2)
3- Ferromolybdenite ($Fe_2MoO_4 . 7H_2O$)
4- Wulfenite ($PbMoO_4$)

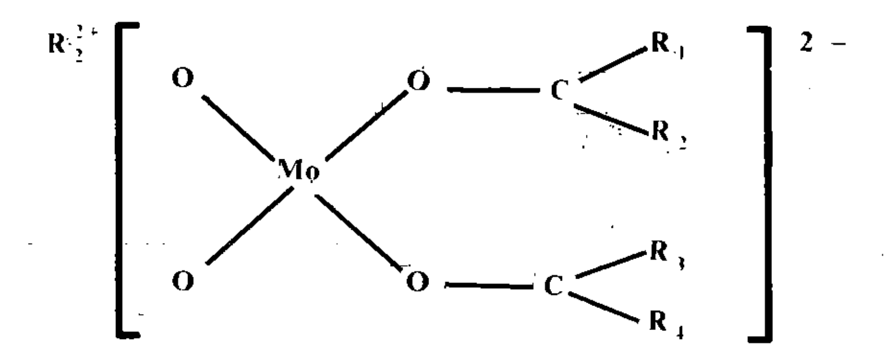
وقد ينتشر في بعض المعادن الترابية نتيجة للاحلال المتماثل بين ايون المولبيدنيوم (Mo^{4+}) وايون الالمنيوم (Al^{3+}) . ولهذا نجد المولبيدنيوم في معادن الفلسبار والميكا .

2- صور المولبيدنيوم الممدص (الممتز)

يمدص عنصر المولبيدنيوم على أسطح معادن الطين من خلال روابط كيمياوية . وتعتبر الصورة المدصة جاهزة للنبات . وكذلك يمدص عنصر المولبيدنيوم في الترب الحامضية بواسطة الاكاسيد الحرة مثل اكاسيد الحديد وإن قوة الربط بين الأثنين كبيرة ، أي أن قوة الربط تعرقل جاهزية المولبيدنيوم ولهذا يعتبر امدصاص هذا العنصر بواسطة اكاسيد الحديد حالة تثبيت وعرقلة للجاهزية . وقد اوضح (Jones, 1957) وكذلك (Mikhailov, 1962) إن ارتباط المولبيدنيوم بأكاسيد الحديد يؤدي الى تكوين مركب ferromolybdite الذي قد يتحول الى اكاسيد معدنية للحديد مثل goethite و haematite يحل بها ايون (Mo^{4+}) محل بعض ايونات الحديديك (Fe^{3+}) . ولهذا يضيف المولبيدنيوم الممدص بأنه غير جاهز للنبات .

وقد يرى بعض الباحثين ضرورة تقسيم صور المولبيدنيوم الممدص الى قسمين :
(1) الممدص بصورة متبادلة على المعقد الغروي وهذه الصورة اكثر جاهزية .
(2) المولبيدنيوم الممدص بواسطة الاكاسيد الحرة ، كأكاسيد الحديد ، وهذه الصورة أقل جاهزية بسبب سرعة التداخل بين الأثنين وتكوين معقدات قليلة الذوبان .

وقد يرتبط عنصر المولبيدنيوم مع المادة العضوية مكوناً معقدات عضوية غير جاهزة للنبات بالأخص مع حوامض الدباليك humic acid . وقد اكد (Manskaya & Drosdova, 1968) إن التفاعل بين المادة العضوية بهيئة حوامض الدباليك وعنصر المولبيدنيوم يكون معقدات غير ذائبة . في حين اشار (Spengler & Gansheimer, 1957) الى أن التفاعل مع المكونات العضوية التي تحتوي على مجاميع هايدروكسيلية يكون معقدات عضوية ذائبة وإن التركيب المقترح لنمثل صيغة التفاعل هو الآتي



ولهذا فإن امدصاص المولبيدنيوم في الترب الرديئة التهوية مع المادة العضوية ومكوناتها ونواتجها مثل الفينول والكحولات والاحماض العضوية يزيد من جاهزية هذا العنصر بسبب تكوين معقدات ذائبة وذلك لزيادة عدد الجاميع الهايدروكسيلية في الظروف اللاهوائية . وقد يتحد المولبيدنيوم مع المركبات العضوية النايتروجينية مثل البروتين وكذلك مع المواد الكاربوهيدراتية كما اشار لذلك (Nelson et al, 1951) .

3- المولبيدنيوم الذائب في محلول التربة

إن تركيز المولبيدنيوم الذائب في محلول التربة قليل جداً قد لا يتجاوز (1) جزء في المليون أو أقل . وإن هذا التركيز يرتبط مع pH التربة . وتعتبر صور المولبيدنيوم الذائبة من اكثر الصور جاهزية للنبات .

وقد أشار (Barshad, 1951) الى أن محتوى محلول التربة في مختلف الظروف من المولبيدنيوم الذائب يتراوح بين 0.8 الى 3.9 جزء في المليون . وإن الصورة السائدة هي MoO_4^{2-} والتي ترتبط بحالة توازن مع المولبيدنيوم ضمن الحيز غير المستقر Labile Mo الذي يمثل الصور المدمصة والمتبادلة من المولبيدنيوم . ويمكن وصف السلوك الكيمياوي للمولبيدنيوم وعلاقته مع الذائب في محلول التربة بالمعادلة الآتية :

(Mo) الذائب في محلول التربة ⇆ (Mo) الحيز غير المستقر ⇆ (Mo) غير الجاهز – ضمن المعدني .

ولهذا يمكن اعتبار المولبيدنيوم الذائب والصور الواقعة ضمن الحيز غير المستقر هي صور جاهزة للنبات وهذه قد لا تمثل اكثر من 5% من المولبيدنيوم الكلي ، في حين تمثل الصور الداخلة في تركيب المعادن المختلفة ومركبات المولبيدنيوم اكثر من

95% من المحتوى الكلي للموليبدنيوم بالتربة وهي عبارة عن الصور غير الجاهزة للنبات .

العوامل التي تؤثر على جاهزية الموّلبيدنيوم

سنحاول التطرق الى العوامل التي تؤثر على جاهزية المولبيدنيوم وعلاقة ذلك بأنتاجية المحاصيل الزراعية المختلفة .

1- تأثير درجة حموضة التربة (pH)

سبق أن اشرنا الى الارتباط القوي بين تركيز عنصر المولبيدنيوم في محلول التربة و pH التربة . وقد اشار (Lindsay, 1979) الى أن زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة التركيز في المحلول بمقدار 100 مرة . ويمكن إيضاح هذه العلاقة بالآتي :

$$H_2MoO_{4\,(c)} \rightleftharpoons 2H^+ + MoO_4^{2-} \qquad \log K^o = -13.37$$

$$[MoO_4^{2-}] = \frac{10^{-13.37}}{[H^+]^2}$$

فلو افترضنا أن pH = 7 فإن

$$[MoO_4^{2-}] = 10^{0.63}$$ مول / لتر

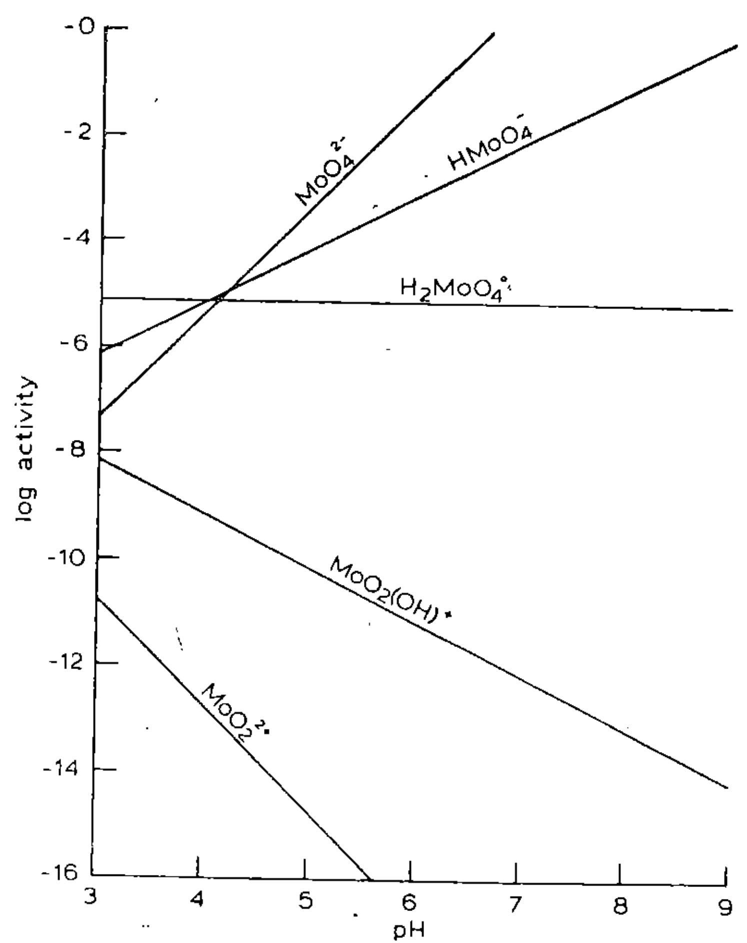
اما اذا كان pH = 8 فإن :

$$[MoO_4^{2-}] = 10^{2.63}$$

وهذا يعني أن زيادة pH الوسط من 7 الى 8 ادى الى زيادة التركيز بمقدار 100 مرة . ولا تقتصر هذه العلاقة على الصورة MoO_4^{2-} بل على الصورة $HMoO_4^-$ (الشكل 1) ايضاً . في حين لا تتأثر الصورة $H_2MoO_4^0$ مع تغير pH التربة . وإن اذابة الصور المختلفة في مختلف الظروف يمكن ترتيبها بالآتي :

$$MoO_4^{2-} > HMoO_4^- > H_2MoO_4^0 > MoO_2(OH)^+ > MoO_2^{2+}$$

ونظراً لأهمية الصورة MoO_4^{2-} باعتبارها الصوْرة المناسبة للامتصاص من قبل النبات فإنه يمكن الاستنتاج بأن جاهزية المولبيدنيوم تكون عالية في الترب القاعدية . وتتفق النتائج التي توصل اليها كل من (Anderson, 1955, Daves, 1956, Evans & Purvis, 1951) مع هذا الاستنتاج . وقد أكد (Reisenar, 1962) إن جاهزية المولبيدنيوم في الترب الحامضية قليل جداً وذلك لتكوين مركبات غير ذائبة . وقد بين (deMooy, 1970) إن اضافة الكلس للترب الحامضية يؤدي الى زيادة كبيرة في جاهزية المولبيدنيوم .



الشكل (1) العلاقة بين تركيز صور المولبيدنيوم المختلفة في محلول التربة مع الـ pH

لقد أشار (Bhella & Dawson, 1972) الى أن pH التربة له تأثير كبير على جاهزية وامتصاص المولبيدنيوم من قبل النبات . كما أكد (Stout et al 1951) إن الاستجابة تكون لاضافات اسمدة المولبيدنيوم عالية في الترب الحامضية وإن

اضافة الكلس لهذه الترب يساعد على انطلاق المولبيدنيوم بسبب زيادة درجة تفاعل التربة .

2- تأثير كاربونات الكالسيوم

لكاربونات الكالسيوم درور مهم في جاهزية المولبيدنيوم خصوصاً في الترب الحامضية التي تعاني من نقص في المولبيدنيوم الجاهز" وقد يعزى فعل الكلس هنا الى رفع pH التربة مما يزيد من انطلاقه الى محلول التربة وبالتالي توفره للنبات . لقد اشار (Kavimandan, 1964) الى أن زيادة محتوى التربة من الكلس يؤدي الى زيادة جاهزية المولبيدنيوم .

3- تأثير المادة العضوية

إن محتوى الترب من المادة العضوية يؤثر على جاهزية المولبيدنيوم فقد أشار (Mitchel, 1965) الى أن المعقدات العضوية تملك قدرة احتفاظية عالية للمولبيدنيوم . لذا يمكن القول إن الترب ذات المحتوى العالي من المادة العضوية تعاني من نقص المولبيدنيوم وهذا ماأكده (Gupta, 1971) عندما لاحظ ان اضافة مواد عضوية متحللة من نوع Peat الى تربة Sand Clay Loam ادت الى نقصان كميات المولبيدنيوم المتبادلة وإن معدل نقصان قيم المولبيدنيوم المتبادلة كان اكبر في حالة وجود المادة العضوية واضافة المولبيدنيوم الى التربة مقارنة بالحالة القياسية التي أضيف لها المولبيدنيوم ولكن لم تعامل بالمادة العضوية .

وفي دراسة اجريت من قبل (Baydadi, 1972) لمعرفة تأثير اضافة المادة العضوية على جاهزية المولبيدنيوم في ترب كلسية لاحظ بأن هنالك نقصاناً في المحتوى الجاهز إذ انخفض المحتوى الجاهز من 19.3-29.6% الى 3% بعد اضافة المادة العضوية المكونة من (خليط من قش الحنطة والجت وكسبة القطن) المتحللة خلال فترة شهر .

لقد أوضح (Fleming, 1973) أن جاهزية المولبيدنيوم تزداد في ظروف البزل الرديئة ، وبنفس الوقت فإن محتوى التربة من المادة العضوية تزداد في مثل هذه الظروف بسبب عدم مساهمة احياء التربة في تحلل هذه المواد (جدول 1) . وبهذا فإن تخمر المواد العضوية وتكوين الكحولات والمركبات العضوية الأخرى الحاوية على مجاميع الفينولات والهايدروكسيل يؤدي الى زيادة جاهزية المولبيدنيوم بتكوين معقدات ذائبة .

جدول (1) تأثير ظروف البزل على جاهزية المولبيدنيوم

ظروف البزل	الكاربون العضوي %	pH	متوسط محتوى المولبيدنيوم (ppm) تربة	نبات
جيدة	4.0	6.5	0.39	3.1
رديئة	6.4	6.5	0.44	3.9
رديئة جداً	10.7	6.6	2.36	13.0

4- تأثير كمية معادن الطين ونوعيتها

لمعادن الطين دور كبير في التأثير على جاهزية المولبيدنيوم . فقد اشار (Barshed, 1951) الى ان الهالوسايت والكاؤولينات وجميع انواع الغرويات اللاعضوية تمدص كميات كبيرة نسبياً من المولبيدنيوم من المحلول ووضح بأن الزيادة في عملية الامدصاص تكون في الوسط الحامضي . كما بين (Stout et al. 1951) بأن المولبيدنيوم يمدص بقوة على معدن الهالوسايت المائية Hydrated Halloysite وان ترتيب الغرويات حسب قابليتها على الامدصاص كالآتي :

Ferric oxide >> Hemitite > meta halloysite
Montmoronite >> Kaolinite

5- تأثير التداخل مع الايونات الأخرى

لقد اشار عدد من الباحثين الى أنّ عنصر الفسفور يشجع امتصاص المولبيدنيوم من قبل النبات (Anderson & Oertel, 1946) . وقد بين (Fleming, 1965) بأن تكوين المعقد مولبيديدات الفسفور phosophomolybdate السريع التحرك والتمثيل داخل النبات هو العامل المساعد في مساهمة الفسفور في زيادة قدرة النبات على امتصاص المولبيدنيوم . وقد اكد (Walsh et al., 1952) بأن سمية المولبيدنيوم ترتبط مع وجود تركيز عالٍ من الفسفور غالباً .

أما العلاقة بين جاهزية المولبيدنيوم واضافة الكبريت . فقد لاحظ (Stout et al. 1951) ان اضافة الكبريتات بهيئة $CaSO_4$ الى المحاليل الغذائية والترب قد عرقل امتصاص المولبيدنيوم من قبل النبات وقد فسروا هذه الظاهرة على اساس :

«تنافس ايونات الكبريتات مع المولبيدات على مواقع الامدصاص على أسطح الجذور خلال مراحل الامتصاص الاولى »

وقد أيد (Olesen, 1979) و (Gupta & Munro, 1969) من خلال تجاربهم الرأي السائد في عرقلة جاهزية المولبيدنيوم وامتصاصه مع زيادة مستويات الكبريتات في التربة .

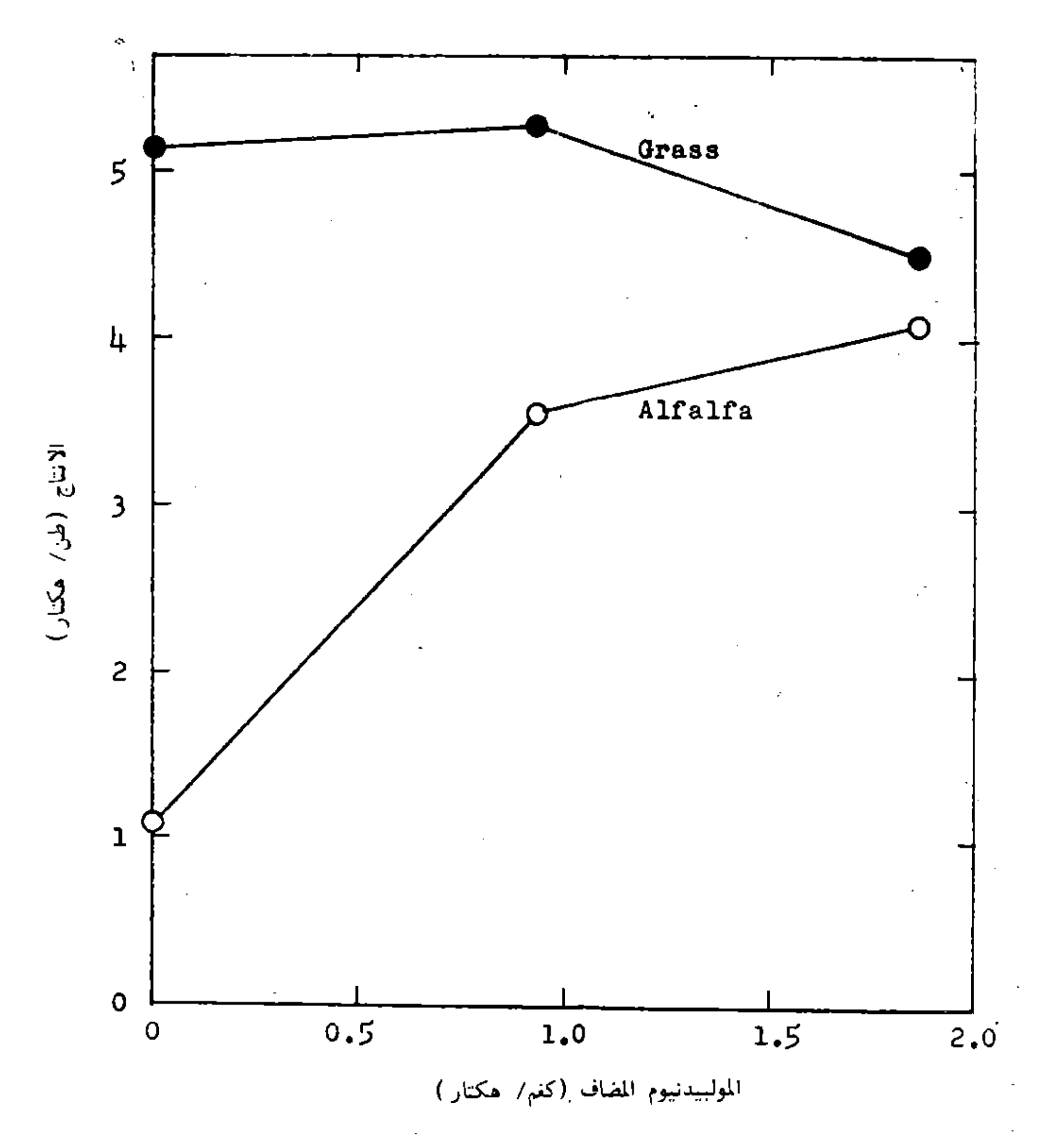
لقد اشار باحثون كثيرون الى التداخل بين الحديد والمولبيدنيوم في الترب القاعدية والكلسية . فقد لاحظ (Oleson, 1979) ان نقصان تركيز الحديد في نبات الذرة البيضاء بسبب زيادة المولبيدنيوم الجاهز . كما بين (Berry & Reisenauer, 1967) كيفية تأثير وجود المولبيدنيوم على عرقلة حركة الحديد في نبات الطماطا .

أما (Alexander, 1959) وآخرون فقد درسوا العلاقة بين ايون المولبيدات والكالسيوم فلاحظوا أنَّ اضافة الكالسيوم بتراكيز واطئة قد زاد من تركيز المولبيدنيوم وزاد النمو ولكن زيادة مستوى الكالسيوم المضاف يؤدي الى نقصان في تركيز المولبيدنيوم .

كما لاحظ (Mackay **et al**. 1966) ان اضافة النحاس يؤدي الى خفض محتوى النبات من المولبيدنيوم . وقد وجد (Johns, 1956) عكس هذه الحالة ، أي ان اضافة المولبيدنيوم أدى الى خفض محتوى النبات من النحاس .

المولبيدنيوم ونمو النبات

يعتبر المولبيدنيوم من العناصر الغذائية المهمة للنبات ومن خلال الدراسة التي اجريت على محصول الشوفان النامي في محاليل غذائية تحوي على املاح مغذية نقية من قبل (Piper, 1940) اثبت وبصورة تجريبية ضرورة وجود المولبيدنيوم كعنصر غذائي اساسي فقد لاحظ انه بوجود البورون والنحاس والمنغنيز والزنك وغياب المولبيدنيوم ظهرت اعراض النقص بشكل بقع على الاوراق في وقت ظهور البادرات . ان محتوى النباتات المختلفة من المولبيدنيوم قليل (أقل من واحد جزء في المليون) مما يشير الى قلة احتياج النبات الى هذا العنصر على الرغم من اهميته لمختلف العمليات الفسيولوجية داخل النبات . فقد بين (Johnson, 1966) ان احتياج المحاصيل البقولية من عنصر المولبيدنيوم اكثر من احتياج المحاصيل الاخرى (الشكل 2) ، لذا فإن محتوى المحاصيل البقولية يقع بحدود 0.3-0.8 جزء في المليون في حين يقل محتوى المحاصيل الأخرى عن 0.1 جزء في المليون .



الشكل (2) استجابة الجت والحشائش لاضافات مختلفة من المولبيدنيوم **(Mulder, 1952)** .

يمتص عنصر المولبيدنيوم على هيئة MoO_4^{2-} ويعتبر هذا العنصر مهماً في نشاط بعض الأنزيمات مثل انزيم الـ nitrogenase وأنزيم nitrate reductase . وبهذا فإن لهذا العنصر دوراً هاماً في ميكانيكية تثبيت النايتروجين الجوي بواسطة انزيم nitrogenase وقد اكد (Bergersen, 1971) ضرورة وفرة عنصر المولبيدنيوم والبكتريا المثبتة للنايتروجين ذات المعيشة التكافلية على النبات البقولي كأساس لميكانيكية تثبيت النايتروجين بمساعدة انزيم nitrogenase . وقد أوضح (Becking, 1961) ان نقص عنصر المولبيدنيوم يعرقل تثبيت النايتروجين الجوي

وان تجمع Mo في العقد الجذرية عند اضافة المولبيدنيوم يشجع ميكانيكية التثبيت . ولهذا فإن العقد الجذرية تعدُّ هي المركز الرئيسي لتجميع المولبيدنيوم في النبات (الجدول 2) .

جدول (2) محتوى المولبيدنيوم في الاجزاء المختلفة من النبات

	الاوراق	السيقان	الجذور	العقد
	بوحدة جزء في المليون من المادة الجافة			
اضافة Mo	0.27	1.89	2.62	17.3
بدون اضافة Mo	0.01	0.14	0.24	2.00

وقد اشار عدد من الباحثين الى اهمية عنصر المولبيدنيوم في تنشيط انزيم nitrate reductase الضروري لأختزال النترات في النباتات الى صورة امونيوم (Evans & Aason, 1953) . لذا فإن احتياج النباتات التي تمتص النايتروجين بهيئة NO_3^- من المولبيدنيوم اكبر من تلك التي تمتص النايتروجين بهيئة NH_4^+ . وقد أوضح (Hewitt & Gundry, 1970) عدم احتياج النباتات الى المولبيدنيوم عندما تجهز بالنايتروجين على هيئة NH_4^+ . وقد اجريت عدة تجارب ساهمت في تأكيد هذه الحقيقة . وان نقص Mo يشجع نقص النايتروجين عند تجهيز النبات بالنايتروجين على هيئة NO_3^- (Hagstrom & Berger, 1965) .

اعراض نقص المولبيدنيوم واسلوب معالجتها

إنّ معظم الترب تحتوي على نسبة لا بأس بها من Mo ماعدا التربة ذات pH اقل من 5.5 بسبب زيادة معدل الامدصاص . كما ان محتوى الترب الرملية من المولبيدنيوم قليل بسبب زيادة معدل الغسل . وتعاني الترب العضوية من نقص في Mo الجاهز بسبب زيادة معدل التثبيت . ويعالج نقص المولبيدنيوم بإضافة الأسمدة . فقد استخدم (Scott et al. 1963) أسمدة المولبيدنيوم بمعدل 70 غم Mo لكل هكتار لمعالجة النقص واعطت هذه الكمية استجابة جيدة لفترة سبع سنوات . وعلى الرغم من إختلاف استجابة المحاصيل الزراعية لعنصر Mo (جدول 3) فإن إضافة هذا العنصر بمعدل 0.5-1 كغم Mo/ هكتار مباشرة للتربة أو

بطريقة الرش يعالج النقص في مختلف الترب . ومن اهم الأسمدة الشائعة الاستعمال هي المبينة في جدول (4) .

جدول (3) استجابة بعض المحاصيل الزراعية للموليبدنيوم

نظام الاستجابة		
عالي	متوسط	قليل
قرنابيط	اللهانة	الشعير
البرسيم	الشوفان	الباقلاء
الخس	البزاليا	الجزر
السبانخ	البنجر السكري	الذرة الصفراء
	الطماطا	البطاطا
	الحنطة	

جدول (4) اسمدة الموليبدنيوم ومحتواها (Davis, 1980)

اسم السماد	الصيغة	(%) Mo
موليبدات الصوديوم	Na_2MoO_4	39
موليبدات الامونيوم	$(NH_4)_2MoO_4$	54
اوكسيدات الموليبدنيوم	Mo_2O_8	66

تعتبر طريقة الرش من اكثر طرق اضافة الموليبدنيوم لمعالجة النقص في مختلف الترب وبالأخص العالية التثبيت . فقد وجد (Gammon et al. 1954) ان رش 1.9 غم لكل لتر لكل هكتار من الموليبدنيوم بهيئة موليبدات الامونيوم يعالج نقص هذا العنصر الظاهر على محصول القرنابيط . في حين وجد (Stewart & Leonard, 1952) ان إضافة 0.06 غم Mo / لتر لكل شجرة ساعد على معالجة نقص اشجار الحمضيات . في حين وجد (Hagstrom & Berger, 1965) ان

استجابة النبات لاضافة Mo بطريقة الأضافة المباشرة مع البذور وكمية من الرطوبة وبمعدل 0.14 كغم مولبيدات الصوديوم لكل هكتار تعطي نفس التأثير الفعال للاضافة بطريقة الرش عند اضافة نفس المستوى .

تظهر اعراض المولبيدنيوم في الاوراق القديمة إذ تتلون باللون الاصفر أو الأخضر المشحوب بالصفرة . كما يؤثر نقص المولبيدنيوم على تكوين الازهار ويعمل على تكوين اوراق صغيرة الحجم وقد تكثر بعض البقع الصفراء على سطح اوراق النباتات . ويؤدي نقص Mo الى خفض محتوى النبات من البروتين كما يقلل محتوى النبات من فيتامين C .

قائمة المصادر

1- Abbaas, F.M. (1977) M.Sc. THesis Baghdad University.

2- Abd- Elrazak, H. (1975) Hp.D. Thesis. Assiut Univ.

3- Akas, M. and van Egmond, F.V.A.N. (1980) Soil & Fertilizers 43: 1:601.

4- Al-Anie; Naji, T.; Abd-Egawad, M. and Naji, T. (1977) Iraqi J. Agric. Sci. 12: 124-136.

5- Alexande, A.G. (1959) Amer. Hort. Soc. Proc. 74: 607-615.

6- .Anderson, A.S. (1955) Adv. Agron. 8: 163-202.

7- Anderson ,A.S. and Oertel, A. (1946) Aust. Concil Sci. Incl. Res. Bull. 198: 24-44.

8- Arnon, D.I. and Stout, P.R. (1939) Plant Physiol. 14: 599-602.

9- Ayed, I.A. (1970) Plant & Soil 32: 18

10- Barashad, I. (1951) Soil Sci. 71: 297-313.

11- Bear, E. (1929) Theory & Practice in use of fertilizer. John Wiley & Sons.

12- Becking, J.H. (1961) Plant & Soil 12: 60-65.

13- Berger, K.C. (1949) Adv. Agron. 1: 321-351.

14- Berger, K.C. and Truoy, E. (1945) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 10: 113-116.

15- Berry. J.A. and Reisenauer, H.M. (1967) Plant and Soil 27: 303-313.

16- Bolle-Jones, E.W. (1955) Plant & Soil 6: 45-60.

17- Bonnet, J.A. (1947) Soil Sci Soc. Am. Proc. 11: 295-297.

18- Boxma, R. (1972) Plant & Soil 37: 233-243.

19- Brown, J.C. (1956) Ann. Rev. Plant Physiol. 7: 171-190.

20- Brown, J.C., Holmes, R.S. and Specht, A.W. (1955) Plant Physiol. 30: 457-462.

21- Brown, J.C. (1980) Soil & Fertilizers 2: 43-116.

22- Burleson, C.A. and Gunnigham, H.C. (1963) Micronurtient-status and needs in the Sourthern regions. vol. 9 No. 3.

23- Chapman, E.W. and Mackay, D.C. (1957) Canada Dept. Agr. Expt. Farm. Kentill Scotia, Progr. Rept. 6: 24-25.

24- Cheng, B.T, Bourget, S.T. and Duellette, G.J. (1971) Can. J. Soil Sci. 51:125.-126.

25- Cheriam, E.C., Paulsen, G.M. and Murphy, L.S. (1968) Agron. J. 60: 554-557.

26- Coleman, R.G. (1945) J. Boil. Sci. 10: 50-56.

27- Cook, R. & Miller, C.E. (1939) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 4: 297-301.

28- Davies, E.B. (1956) Soil Sci. 81: 209-222.

29- Davies, E.B. (1980) Applied Soil Trace elements Wiley. New York.

30- de Mooy, C.J. (1970) Iowa. Agron. J. 62: 195-197.

31- Dingra, D.R., Manwar, J.S., Bhumble, D.R. and Schge, J.L. (1965) Plant & Soil 44: 511-520.

32- Doneen, L.D. (1968) M.Sc. Thesis Utah State Univ. USA.

33- Evans, H.J. (1951) J. Amer. Soc. Agron. 43: 70-71.

34- Evans, H.J., Purvis, E.R. and Bear, F.E. (1950) 25: 555-566.

35- Evans, H.J. and Purivs, E.R. (1951) J. Am. Soc. Agron. 43: 70-71.

36- Ferguson, W.M. and Wright, G.E. (1940) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 5: 225-226.

37- Fleming, G.A. (1965) Soil Sci. 112: 348-350.

38 Fleming, G.A. (1973) In «Chemistry & Bio Chemisttry of Herbage. Eds. Academic Press, London.

39- Fox, A. (1968) Soil Sci. 106: 435-439.

40- Foroughi, N, Evans, H.J. and Wright, G.E. (1973) 21: 290.

41- Gammon, N., Volk, G.M., McCabbin, E.N. & Eddins, A.H. (1951) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18: 302-305.

42- Gupta, U.C. (1970) Soil Sci. 19:280.

43- Gupta, U.C. (1971) Plant & Soil 34: 249-253.

44- Gupta, U.C. & Munro, D.C. (1969) Soil Sci. 107: 114-118.
45- Hatcher, J.J., Bower, C.A. & Clark, M. (1967) Soil Sci. 104: 422-426.
46- Hagstrom, G.R. and Berger, K.C. (1965) Soil Sci. 99: 52-56.
47- Humbert, R.P. (1963) Ph.D Thesis, Assiut Univ. Egypt.
48- Jadhar, N.S. and Malewar, G.U. (1980) Soil & fertilizers 43: 3:1939.
49- Jhon, D. (1956) N.Z.J. Agric. 92: 84.
50- Jhon, E.M. (1967) C.F. Agron. Abst.Washington, D.C. Nov. 5-10.
51- Jhon, P. (1976) Plant & Soil 44: 359-365.
52- Johnson, C.M. (1960) Molybdenum, P. 286-301. In Diagnostic Criteria for Plants & Soils.
53- Jonės, L.H.P. (1957) Plant & Soil 8: 315-327.
54- Kashirad, A.& Marschner, H. (1974) Plant & Soil 41: 91-101.
55- Kavimandan, S.K., Badhe, N.N. & Ballal, D.K. (1964) J. Indian Soc. Sci. 12: 281-288.
56- Korda, A. (1964) Sovi. Soil Sci: 12: 1369-1377.
57- Kravskopf, K.B. (1972) In «Micronutrient of Agriculture P. 7-40. SSSA. Madison USA.
58- Lindsay, W.L. (1972) In Micronutrient of Agriculture. Soil Sci. Soc. Am. Madison USA.
59- Lindsay, W.L. (1974) Adv. Agron. 24: 147-153.
60- Lindsay, W.L. (1979) Chemical equilibria in Soil. Wiley. New York.
61- Lucas, R.E. & Knezek, B.D (1972) In "Micronutrient in Agricultwė" P. 265-288.
62- Mackay, D.C., Chipman, E.W. & Gupta, U.C. (1966) Soil Soc. Sci. Am. Proc. 30: 755-759.
63- Martin, W.E. & Matocha., J.E. (1973) In "Soil Testing & Plant Analysis" Soil Soc. Am. Inc Madison, USA.

64-Mc Connell, P. (1922) The agricultural note book. London.
65- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principles of Plant Nutrition. 3rd ed. Bern.
66- Metwally, A.I.; Elkobbia, T. and Omer, M.A. (1974) Egypt, J.Soil Sci. 11, 1.
67- Meullen, H. (1932) Nature 130: 909.
68- Miller, B.F., Lindsay, W.L. & Parsa, A.A. In "Proc. Agric. West. Mangge. Conf. Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
69- Mitchell, R.L. (1955) Trace elemats in Scottish Peats. Int. Peat symp. Dublin.
70- Mortred, J.J. and Osborn, G. (1965) Soil Sci. Soc. Proc. 29: 187-191.
71- Mulder, E.G. (1948) Plant & Soil 1: 94-119.
72- Nelsob, K., Richtmger, K. & Hudson, E.S. (1951) J.Am. Chem. Soc 73: 2249-2250.
73- Neubert, P.W., Wazidlo, H.P., Vielemeyer, I.; Hundt P. and Bergmann, W. (1969) Pflanzenern. Tena. Berlin.
74- Nies, N.P. and Compbell, G.W. (1964) Inters. 53-232. Boron, Metallo Bron Compounds & Borates.
75- Noakes, A. & Hood, R. (1961) Boric acid Complexes in Sea Water Research 8: 121-129.
76- Dertli, J.R. & Opoku, A.A. (1974) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 597-602.
77- Olsen, R.V. and Berger, K.C. (1946) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 216-220.
78- Overstreet, R. & Deen, L.A. (1953) In "Mineral Nutrition of Plant. Wisconsin Univ. Press. Madison P. 79-106.
79- Page, N.R. & Paden, W.R. (1954) Soil Sci. 77: 427-434.
80- Pines, J. (1963) Agric. Pre. 13: 3-8.
81- Piper, A. (1940) Inst. Agri, Sci. 6: 162-164.

82- Ponnamperuma, F.N. (1978) In Soils & Rice (P. 421-441) Los Banes, Philippines.

83- Rediske, J.H. & Biddulph, O. (1953) Plant Physiol. 28: 567-593.

84- Rutland, R.B. (1971) J. Amer. Soc. Hort. Sc. 96: 653-655.

85- Satayanarayan, Y. (1958) Ind. Soil Sci. 6: 223-226.

86- Scheffer, F. & Welte, E. (1955) Plant Nutrition 3rd ed. P 163. Stuttgart.

87- Scott, R.S., Cullen, N.A. & Davis, E.B. (1963) N.Z.J. Agric. Res. 6: 538-555.

88- Sims, J.R. and Bingham, F.T. (1967) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 728-731.

89- Solov, E.V.G.A. Goluben, M.V. (1980) Soil & Fertilizers 3: 1946.

90- Spengler, G. & Gansheimer, J. (1957) Angew. Chem. 69: 532.

91- Stepanova, M.D. (1974) Soil Sci. 6: 907-712.

92- Stewart, I. & Leonard, C.D. (1952) Nature 170: 714-715.

93- Stout, P.R., Meagher, W.R., Person, G.A. and Johnson, C.M. (1951) Plant & Soil 3: 51-87.

94- Swain, D.J. (1955) Bureau. Soil Sci. Tech. Comm No. 48.

95- Syworolkin, G.S. (1958) The boron Content of plant with alatex syslem.

96- Taj-Aldin, M.M. (1979) M.Sc. Thesis, Baghdad Univ. 283-288.

97- Tayel, M.Y. (1964) M.Sc. Thesis Ain Shams Univ. Cairo.

98- Thomas, J.D. & Mathers, A.C. (1979) Agron. J. 71: 792-794.

99- Tiffin, L.O. & Brown, J.C. (1961) Plant Physiol. 36: 710-714.

100- Tiffin, L.O., Brown, J.C. & Krause, R.W. (1960) Plant Physiol. 35: 352-367.

101- Tiffin, L.O. & Brown, J.C. (1959) Science 130: 274-275.

102- Tisdal, S.L. & Nelson, W.L. (1975) Soil fertility & fertilizers 3rd ed. New York.

103- Trolldenier, G. (1973) Plant & Soil 38: 267-279.

104- Trough, E. (1948) Soil Sci. 65: 1-8.

105- Trough; E. (1953) Soil as amedium of Plant growth. Madison.

106- Wallace, T. (1951) The diagnosis of mineral defiçiences in plant by Visual Sy mptoms.

107- Walsh, T., Neenan, M. & O'Moore, L.B. (1959) J. Dep. Agric. Repub. Ire. 48: 32-43.

108- Walsh, T. & Golden, J.D. (1952) Inter. Soc. Soil Sci. Trans. 11: 167-171.

109- Wear, J.I. & Patterson, R.M. (1962) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 344-346.

110- Wear, J.L. & Patterson, R.M. (1962) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 344-346.

111- Whetston, R.R., Robinson, W.O. and Byers, H.G. (1942) U.S. Dept Agr. Tech. Bull. 797.

112- Wilson, J. (1948) Agro. J. 43: 363-367.

113- Woodbridge, C.G. (1940) Adv. Agron 1: 321-351.

الفصل الثامن

الأسمدة وتسميد المحاصيل الزراعية

المقدمة

سبق أن اوضحنا ان النبات النامي يحتاج الى عناصر غذائية مختلفة لكي يكمل دورة حياته وان معظم هذه العناصر الغذائية يأخذها من التربة اذا استثنينا الاوكسجين والكاربون والهايدروجين . وبسبب زراعة الاراضي سنة بعد اخرى يستنفذ النبات معظم العناصر الموجودة فيها فتصبح الارض فقيرة ويقل الحاصل لدرجة قد يصبح غير اقتصادي . والعادة المتبعة ، كما سبق الاشارة اليها لدى معظم المزارعين العراقيين لتخفيف هذا التدهور في الاراضي الزراعية هو استعمال الاسمدة الحيوانية أو زراعة الارض سنة وتركها السنة الاخرى بدون زراعة . ولكن الحاجة الى زيادة انتاج المحاصيل الزراعية بشكل يسد جميع منافذ النقص في الغذاء دون الاعتماد على سياسة الاستيراد للمنتجات الزراعية وكذلك الحاصلات الزراعية المختلفة تدعو الى ضرورة معالجة مشكلة زراعة الارض سنة وتركها سنة اخرى والعمل على استغلال اكبر مساحة ممكنة من الاراضي الزراعية واتباع الزراعة الكثيفة في البلد للعمل على زيادة الانتاج وقد لا يقتصر هذا الامر على العراق فحسب بل ان مشكلة نقص الغذاء والزيادة الكبيرة في عدد سكان العالم والرغبة في توفير الغذاء لمختلف سكان العالم تدفع المختصين في العلوم الزراعية ومنذ بداية القرن الحالي الى القيام بالعديد من البحوث الزراعية لأبتكار افضل السبل لزيادة الانتاج الزراعي . وكان لصناعة الأسمدة الكيمياوية دور فعال في المساهمة في زيادة الأنتاج الزراعي بالأضافة الى تطوير المجالات المختلفة كأختيار الاصناف الجيدة وتربيتها واستخدام الوسائل المتعددة في تحسين خواص التربة الفيزياوية والكيمياوية واستخدام المكائن والآلات الزراعية ومكافحة الآفات الزراعية .

سنحاول في هذا الفصل القاء الضوء على انواع الاسمدة وخصائصها وسنركز على الانواع التي لم يسبق تناولها في الفصول السابقة فقط تجنباً للتكرار قدر الامكان ولابد ايضاً من دراسة العوامل الواجب مراعاتها عند اجراء عملية التسميد وكذلك كمية اضافة بعض الاسمدة للمحاصيل الزراعية المختلفة ومواعدها وطرائقها .

الاسمدة المعدنية والعضوية

أ- الاسمدة المعدنية Mineral fertilizers

يطلق على هذه الاسمدة اسم الاسمدة الكيمياوية المعدنية وتاتي اهميتها في تعويضها السريع للنقص الموجود في التربة من العناصر الغذائية المهمة للنبات . فهي عبارة عن املاح عناصر معدنية مختلفة . ولهذا فان الاسمدة المعدنية تمتاز بقدرة التحكم في نوع العناصر المراد اضافتها الى التربة وكميتها لتعويض اي نقص بالاضافة الى سهولة استعمالها للنبات وبكونها تحتوي على نسبة عالية من العناصر الغذائية وانها سريعة الذوبان والتحلل في الماء .

ان مصادر الاسمدة المعدنية الشائعة نوعان طبيعي كصخور الفوسفات وكيمياوي وهذا هو الذي يصنع في المعامل وفقاً تتحدد بها نسبة محتوى السماد من العنصر. والاسمدة الكيمياوية المعدنية انواع هي الاسمدة الكيمياوية الفردية ، اي التي تحتوي على عنصر غذائي واحد او قد يهدف من اضافتها التجهيز بعنصر غذائي واحد مثل سماد نترات الامونيوم ، وسماد اليوريا وسماد السوبرفوسفات العادي او المركز وغيرها . اما النوع الثاني فهو الاسمدة الكيمياوية المركبة التي تحتوي على اكثر من عنصر غذائي يكون غالباً ثلاثة عناصر هي النايتروجين والفسفور والبوتاسيوم وقد تحتوي على عنصرين فقط او اكثر من ثلاثة عناصر غذائية . ولابد من القول ان محتوى الاسمدة المركبة من العناصر الغذائية مختلفة ومتغير وفقاً للرغبة . وقد يوصف السماد المركب مثلاً بعبارة NPK التي تعني ترتيب محتوى هذا السماد بالشكل التالي $N: P_2O_5: K_2O$. فالسماد المركب 15: 15: 15 يعني وجود نسبة من النايتروجين قدرها 15% ومن الفسفور 15% بهيئة P_2O_5 والبوتاسيوم 15% بهيئة K_2O .

تختلف خصائص هذه الاسمدة الكيمياوية والفيزياوية ، لذا فان تأثيراتها على خواص التربة متباينة . ولقد سبق ان اوضحنا في الفصول السابقة خصائص بعض الاسمدة الشائع تداولها وتأثيراتها المتداخلة على خواص التربة ومساهمتها في تجهيز التربة ببعض العناصر الغذائية .

ونظراً لزيادة الطلب على الاسمدة الكيمياوية ، أتجهت بعض المصانع لصناعة الاسمدة المركبة وذلك لتوفير الجهد عند الاستعمال بدلاً من الاسمدة الفردية ولتقليل كلفة النقل ومستلزمات الخزن ، كما يسهل نثرها وعدم تطايرها لكون اسلوب تصنيعها بحالة حبيبات يمنحها تلك الخصائص .

كما تمتاز الاسمدة المركبة بتجانس محتواها بحيث لا يحتاج الأمر الى عمليات الخلط كما في حالة استعمال الاسمدة المفردة .

2- الاسمدة العضوية

ان الاسمدة العضوية عبارة عن مخلفات حيوانية ونباتية تضاف الى التربة لغرض تجهيزها بالعناصر الغذائية وتحسين خواصها المختلفة . وتعتبر هذه الاسمدة بشقيها النباتي او الحيواني من اقدم الاسمدة التي عرفها الانسان واستعملها في تسميد محاصيله المختلفة ونظرا لعدم تطرقنا المسبق لهذه الاسمدة سنحاول قدر الامكان بيان الجوانب المختلفة من خصائص هذه الاسمدة وطرق تحللها بعد اضافتها للتربة وانعكاس ذلك على الانتاج الزراعي .

لابد من البدء اولاً بتحديد انواع الاسمدة العضوية التي هي : —

1- الاسمدة الحيوانية

2- الاسمدة النباتية

اولا : — الاسمدة الحيوانية

السماد الحيواني يطلق على مخلفات الحيوانات الصلبة والسائلة مع بعض المخلفات النباتية التي تستعمل عادة في فرش اصطبل الحيوانات وقد تصنع الاسمدة العضوية الحيوانية وفق مقاييس خاصة لتحديد نسب محتوى السماد من النايتروجين والفسفور وعناصر غذائية اخرى . وتعتبر الاسمدة الحيوانية من اهم الاسمدة العضوية التي تعمل على تحسين الخواص الفيزياوية للتربة فتزيد من تماسك الترب الخفيفة وتفكك الترب الثقيلة وتجعل التربة اكثر قدرة على الاحتفاظ بالرطوبة وتزيد من تحلل معادنها بالاضافة الى تزويدها بالعناصر الغذائية الرئيسية والثانوية . ان التركيب الكيمياوي للاسمدة الحيوانية معقد يختلف باختلاف نوع الحيوان المأخوذ منه السماد بالاضافة الى عمره وحالة معيشة الحيوان واسلوب التغذية وكذلك نوع فرشة الأصطبل وطريقة جمع السماد وخزنه .

تحتوي الاسمدة الحيوانية الحديثة (الطرية) على محتوى عال من الماء يتراوح بين 30-85% . اما المكونات المتبقية فهي عبارة عن مواد صلبة معدنية وعضوية

وسوائل وغازات وتوضح الجداول ، (1 ، 2 ، 3) مكونات بعض الاسمدة الحيوانية .

جدول (1) التركيب الكيمياوي لبعض الاسمدة الحيوانية الحديثة والخالية من القش **(Waksman, 1938)** .

المكونات	سماد الاغنام	سماد الخيول	سماد الابقار
	نسبة مئوية		
مواد ذائبة بالأثير	2.83	1.89	2.77
المادة العضوية الذائبة بالماء البارد	19.19	3.19	5.02
المادة العضوية الذائبة بالماء الحار	5.73	2.39	5.32
الهيمسيلوز	18.46	23.52	18.57
السيليلوز	18.72	27.46	25.43
الكنين	20.68	14.23	20.21
النايتروجين الكلي	4.08	1.09	2.38
الرماد	17.21	9.11	12.98

وتتمثل المواد الصلبة الداخلة في تركيب السماد الحيواني بالعناصر الغذائية المختلفة التي تنطلق غالباً اثناء تحلل السماد لتكون بصورة جاهزة للنبات . ويحتل عنصر النايتروجين المرتبة الاولى من بين هذه العناصر (جدول 2) ويليه البوتاسيوم ثم الفسفور .

جدول (2) متوسط محتوى بعض العناصر الغذائية في الاسمدة الحيوانية
(Loehr, 1968)

السماد	الرطوبة	N	P	K
الابقار	79	0.6	0.1	0.5
الخيول	60	0.7	0.1	0.6
الاغنام	65	1.4	0.2	1.0
الدواجن	54	1.6	0.4	0.4

وقد حدد (Atkinson et al. 1954) متوسط محتوى 44 نموذجاً من الاسمدة الحيوانية المختلفة والمتمثلة بسماد الابقار والخيول والاغنام والدواجن من العناصر الغذائية الصغرى (جدول -3) .

جدول (3) محتوى الاسمدة العضوية من بعض العناصر الغذائية الصغرى (جزء في المليون للمادة الجافة)

العنصر	ادنى مستوى	اعلى مستوى	المتوسط
البورون	4.5	52.0	20.2
المولبيدنيوم	0.84	15.83	2.37
المنغنيز	75.0	549.0	201.1
الكوبلت	0.25	4.70	1.04
النحاس	7.6	40.8	15.6
الزنك	43.0	247.0	96.0

يوجد النايتروجين في الاسمدة الحيوانية بهيئة يوريا Urea ،

هيبيورك Hippuric [C_6H_5 CO. NHCH$_2$ COOH] وحامض اليوريك

Uric acid

$$\left[CO \begin{array}{l} \diagup NH-CO-C.NH \diagdown \\ \diagdown NH-C-NH \diagup \end{array} CO \right]$$

وجميع هذه المركبات غير متطايرة في درجات الحرارة الاعتيادية . ولكن بعد تحلل هذه المواد تتكون نواتج تفاعل مثل كاربونات الامونيوم التي تؤدي الى تكوين غاز الامونيا الذي قد يتطاير الى الهواء الجوي . ونظراً لاختلاف محتوى الاسمدة الحيوانية من هذه المركبات ، لذا فان معدل كمية الامونيا المتطايرة بعد عملية التحلل عند زيادة محتوى السماد من هذه المركبات وتوفير الظروف المشجعة لعملية التحلل . ان مشكلة تطاير الامونيا من الاسمدة الحيوانية تقلل من قيمة السماد الغذائية بسبب فقد عنصر غذائي مهم من التركيب الكيمياوي للسماد دون الاستفادة منه . ويبدأ غاز الامونيا بالتطاير للهواء الجوي بعد عملية التحلل للمكونات النايتروجينية العضوية

وتوفر الظروف المشجعة لهذه العملية ، اي انه يمكن توقع حدوث فقد الامونيا في الاصطبل وكذلك بعد تجميع السماد . وان اضافة مواد حامضية التفاعل للاسمدة الحيوانية اثناء تجميعها يساعد على تقليل كمية الامونيا المتطايرة من السماد . كما ان تعرض السماد لدرجات حرارة عالية يساعد على زيادة الفقد (جدول -4) . وان حركة الهواء لها تأثير كبير على فقد الامونيا ايضاً اذ وجد ان زيادة معدل سرعة الرياح ورفع درجة حرارتها يعمل على زيادة الكمية المتطايرة من السماد (جدول -4) . وهذا يعني ان نصف الامونيا تقريباً تفقد (وكذلك ربع كمية النايتروجين الكلي) خلال 12 ساعة عند درجة الحرارة الاعتيادية (20°م) وفي وجود رياح بسرعة 8.5 ميل/ ساعة (Heck, 1931) .

جدول (4) فقد النايتروجين من سماد الابقار المخمر المعرض للجفاف

الفقد من النايتروجين الكلي الوقت ودرجة الحرارة	(%) فقد الامونيا		(%)	
	هواء طبيعي	رياح بسرعة 8.5 ميل/ ساعة	هواء طبيعي	رياح بسرعة 0.5 ميل/ ساعة
12 ساعة بدرجة حرارة 200°م	15.2	49.4	7.7	25.1
36 ساعة بدرجة حرارة 20°م	46.0	61.0	23.4	30.9
3.5 يوم بدرجة حرارة 20°م	63.9	70.0	32.4	35.6
7.0 يوم بدرجة حرارة 20°م	71.3	73.5	36.2	37.3
7.0 يوم بدرجة حرارة 20°م + 24 يوم بدرجة حرارة 80°م	95.0	95.2	48.2	48.3

(1) نتيجة لتحلل بعض المركبات العضوية النايتروجينية وتكون ايون الامونيوم خلال عملية النشدرة وايون النتريت (NO_3^-) خلال عملية النترجة عند توفر الظروف الهوائية ، يحصل التفاعل التالي الذي يؤدي الى فقد النايتروجين بهيئة غاز (N_2) .

$$PNH_2 + HNO_2 \longrightarrow ROH + H_2O + N_2$$

مركب عضوي نايتروجيني   ناتج عملية النترجة

(2) بعد تكوين صور نواتج عملية النترجة (NO_2^- و NO_3^-) عند توفر الظروف الهوائية والتي تحصل غالباً عند وجود السماد في الأصطبل ولكن بمجرد تغير الظروف بعد تجميع السماد وتحول الحالة الى سيادة الظروف اللاهوائية يحصل فقد بالنايتروجين تصفه المعادلة التالية :

$$3HNO_2 \xrightarrow[\text{لاهوائية}]{\text{ظروف}} 2NO + HNO_3 + H_2O$$

(3) قد تتفاعل اليوريا مع ناتج عملية النترجة HNO_3 مما يؤدي الى فقد النايتروجين

$$(NH_2)_2CO + HNO_2 \longrightarrow CO_2 + 3H_2O + 2N_2$$

(4) فقد الامونيا بعد تحلل المركبات العضوية النايتروجينية وتكوين كاربونات الامونيوم

$$(NH_2 CO + 2H_2O \longrightarrow (NH_4)_2 CO_3 === 2NH_3$$

$$+ H_2O + CO_2$$

(5) تفاعل غاز الامونيا مع حامض HNO_2 الناتج من عملية النترجة

$$NH_3 + HNO_2 \longrightarrow 2H_2O + N_2$$

(6) تفاعل غاز الامونيا مع الاوكسجين

$$4NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2H_2O + 2N_2$$

ولهذا يمكن القول بان فقد النايتروجين يؤدي الى ان تفقد السماد الحيواني محتواه من عنصر غذائي مهم جدا . كما أن وجود ايون NO_2^- أو ايون NO_3^- يعملان على زيادة الفقد .

كما قد تفقد الاسمدة الحيوانية جزءا كبيرا من السوائل المختلطة مع الجزء الصلب . وقد يحصل الفقد في موقع الاصطبل خلال حالة البزل الطبيعي التي يتعرض اليها السماد وكذلك اثناء تجميع السماد ثم وضعه في كوم خاصة . ولا يمكن

التقليل من حجم الخسائر التي يفقدها السماد بعد فقده للسوائل الخاصة التي تحتوي على نسبة عالية من العناصر الغذائية الرئيسية ضمن تركيبها (جدول ـ 5). وتمتاز هذه السوائل بمحتواها العالي من النايتروجين وبهيئة حامض اليوريك uric acid . وقد يفضل البعض تجميع هذه السوائل بعد وضع طبقة من القش في ارضية الاصطبل التي تساعد على ترشيح السوائل والتي يمكن جمعها بطريقة خاصة ولهذه الحالة تأثير سلبي على القيمة الغذائية للسماد الحيواني.

جدول (5) محتوى السوائل المتجمعة من اسمدة حيوانية مختلفة بالنسبة للمحتوى الكلي (Ames & Gaither, 1955).

السماد	النايتروجين (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
الخيول	35	0	58
الابقار	53	5	71
الاغنام	63	4	86

كما ان تجميع الاسمدة الحيوانية في كوم خاصة وتركها معرضة للأمطار يؤدي الى خسارة في محتوى السماد الغذائي وكذلك بمحتواه من المادة العضوية (جدول ـ 6). ومنه يمكن القول بأن هنالك مكونات عالية الذوبان بالماء، لذا يفضل عدم غسل الاسمدة العضوية بالماء طبيعياً تجنباً لفقد العناصر الغذائية مع الماء.

جدول (6) كمية المادة العضوية والعناصر المعدنية التي تفقد اثناء الغسل بالماء (ذائبة بالماء). النتائج استلت من (Ames & Gaither, 1955) حسبت على اساس المحتوى الكلي لهذه الاسمدة.

السماد	المادة العضوية (%)	النايتروجين (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
الخيول	5	53	53	76
الابقار	7	50	50	97
الاغنام	7	42	58	97

وهذا يعني ان نصف محتوى الاسمدة العضوية الحيوانية من النايتروجين والفسفور ذائبة بالماء وان جميع محتواها من البوتاسيوم تقريبا ذائبة ايضاً . كما قد يفقد السماد جزءاً لا بأس به من مكوناته للمادة العضوية اثناء فترة الخزن وعند توفر ظروف مشجعة لعملية التحلل .

من خلال ماتقدم يتطلب اختيار افضل السبل لحفظ السماد الحيواني لمنع كل العمليات السلبية الناتجة من ظروف سوء الخزن . وقد تتبع خطوات عديدة لذلك يمكن ايجازها بالآتي :

(1) يجب ان يحفظ السماد في مكان غير حار ومحمي من الشمس والرياح وذلك لتقليل فقد النايتروجين وعدم خلق ظروف مشجعة لتحلل المركب كاربونات الامونيوم .

(2) اتبع عدد كبير من الباحثين اسلوب الخزن مع اضافة بعض الحوامض المركزة مثل حامض الكبريتيك وحامض الفسفوريك وحامض الهايدروكلوريك وذلك لمنع المركبات النايتروجينية العضوية وعرقلة عملية النترجة وكذلك لمنع تحلل كاربونات الامونيوم كما تصف ذلك المعادلة التالية :

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2$$

وقد يفضل البعض اضافة بعض الاملاح الحامضية التفاعل مثل الجبس ($CaSO_4$) وكذلك كلوريد الكالسيوم ونترات الكالسيوم التي تعمل ايضا على عرقلة عملية تحلل مركب كاربونات الامونيوم وفقا لما تصفه المعادلة التالية :

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 == CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4$$

كما يفضل استخدام سماد السوبرفوسفات العادي وذلك لارتفاع محتواه من الجبس ولهذا فانه يعمل على عرقلة تحلل مركب كاربونات الامونيوم وفقا لما تصفه المعادلة الآتية :

$$2CaSO_4 + Ca(HPO_4)_2 + 2(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2$$

$$+ 2(NH_4)_2SO_4 + 2H_2O + 2CO_2$$

وقد اكدت نتائج (Midgley & Weiser, 1937) أهمية اضافة سماد السوبرفوسفات على كمية الامونيا المفقودة من السماد الحيواني المضاف وكذلك

انتاج محصول الذرة الصفراء (جدول ـ 7). كما اكدت النتائج ان اضافة 67 باوند من النايتروجين لكل طن سماد حيواني وقد اوصى بضرورة اضافة سماد السوبرفوسفات العادي للاسمدة العضوية الحيوانية في موقعها في الأصطبل اي منذ بداية الامر. وقد اكد آخرون هذا الاستنتاج واهميته التطبيقية.

جدول (7) تأثير إضافة سماد السوبرفوسفات المركز للسماد الحيواني قبل وبعد التخمير على استرجاع الامونيا وانتاج الذرة الصفراء بعد إضافة 10 طن سماد حيواني معامل لكل أيكر.

المعاملة	الامونيا المسترجعة (باوند)	إنتاج الذرة الصفراء (غم/ سندان)
المعاملة القياسية (دون سماد حيواني)	–	15
سماد حيواني مخمر وبدون تجفيف	45.3	192
سماد حيواني مخمر ومجفف	3.5	35
سماد حيواني + سوبرفوسفات الذي أضيف قبل التخمير (السماد مجفف)	32	152
سماد حيواني + سوبرفوسفات أضيف بعد التخمير (السماد مجفف)	10.2	46

(3) يفضل حفظ الأسمدة الحيوانية مكبوسة تماماً لتوفير ظروف غير هوائية وذلك لمنع نشاط عملية عكس النترجة وبذلك نتلافى الفقد الناشيء عن وجود NO_2^- أو NO_3^-. ويفضل خزن السماد برطوبة معتدلة وليست عالية.

ان الاعتناء ومعرفة الطريقة الصحيحة لاعداد السماد الحيواني لها تأثير كبير على مكونات العناصر الغذائية فيه. فلقد تطرقنا الى جملة امور لها تأثيرها على خفض القيمة الأجمالية للأسمدة الحيوانية كفقده لقسم كبير من السائل الحاوي على نسبة عالية من النايتروجين أو تركها معرضة للامطار أو مكشوفة للهواء مما يفقد جزءاً من مكوناته من العناصر الغذائية. ولابد ايضاً من الأشارة الى الضرر الناجم من تجمع السماد الحيواني بأكوام ووضعه على أرض ملحية مما تؤدي هذه الحالة الخاطئة الى زيادة محتوى السماد من الاملاح إذ ينتشر الملح من التربة الى الكومة السمادية بواسطة ذوبان الاملاح بالرطوبة التي تتوزع بدورها في الكومة السمادية من خلال عملية الخاصية الشعرية.

إن زيادة الطلب على الأسمدة العضوية لما لها من أهمية في تحسين خواص التربة وامدادها بالعناصر الغذائية يدفعنا الى أختيار أفضل الوسائل للمحافظة عليه بالشكل الذي يساعد على القيام بدوره المطلوب .

تعفن السماد الحيواني

سنحاول هنا مناقشة خصائص تعفن الاسمدة الحيوانية وتأثير هذه العملية على خصائص السماد بالمقارنة مع خصائص السماد الطري . ولابد من القول اولاً إن طريقة تعفين الأسمدة الحيوانية قد استخدمت من قبل الانسان منذ القديم ومازال استخدامها في مختلف مناطق العالم له أهمية خاصة في تحسين خواص السماد . يعتقد الكثيرون إن تعفن السماد الحيواني بخزنه في ظل ظروف خاصة من رطوبة ودرجة حرارة ولفترة زمنية يضيف قيمة غذائية لمكونات السماد إذ يؤدي الى زيادة محتواه من العناصر الغذائية (الشكل ـ I) بالمقارنة مع الأسمدة الحيوانية الطرية . وقد يعزى سبب ذلك من خلال خسارة السماد لجزء كبير من وزنه خلال عملية التعفين وكذلك لجزء من المادة العضوية والنايتروجين حتى عند أفضل ظروف الخزن .

إن الفائدة من تعفين الأسمدة الحيوانية تتلخص بتحسين خواص السماد الفيزياوية مما يسهل عملية توزيعه ونشره على سطح التربة وبما أن عملية التعفين تقلل وزن السماد فإن الكمية اللازمة لتغطية وحدة المساحة تزداد ولكن تحسن خواص السماد الفيزياوية بزيادة كمية الحبيبات الغروية الاقل من 2 مايكرون (McCalla & Boyce, 1969) يؤدي الى تعويض ذلك النقص من خلال زيادة تجانس توزيع وانتشار السماد الحيواني المضاف . كما إن للسماد الحيواني المعفن فائدة أخرى في تقليل عملية الحرق التي ترافق عملية اضافة السماد الحيواني الطري للنبات بسبب خسارة السماد المعفن لجزءٍ كبيرٍ من الامونيا التي يؤدي زيادة تركيزها في التربة الى الضرز . لذا فإن إضافة الأسمدة الحيوانية المعفنة الى التربة وبالقرب من النبات وكذلك اثناء الزراعة لاتشكل خطراً على نمو المحاصيل الزراعية وانتاجها وهذه الحالة لايمكن تطبيقها على الأسمدة الحيوانية الطرية التي يفضل غالباً إضافتها بفترة قبل الزراعة وكذلك بعيداً عن اجزاء النبات عند اضافته بعد الزراعة تجنباً لضرر التركيز العالي من الامونيا . كما ان محتوى السماد المعفن من الفسفور والبوتاسيوم اعلى من السماد الطري وهذا يعني قلة أضافة أسمدة العناصر الغذائية المذكورة بعد إضافة السماد المعفن بالمقارنة مع السماد الطري . ويفضل غالباً إضافة السماد المعفن للترب الرملية وذلك لقدرته العالية على حفظ الماء ومسك العناصر الغذائية في حين يفضل إضافة السماد الطري للترب الطينية الثقيلة . وهنالك آراء عديدة عن اسلوب التعفين ودرجة الحرارة المطلوبة والوقت المناسب ،

لن نتناولها في هذا الفصل على الرغم من اهميتها بعد تزايد أستخدام الأسمدة الحيوانية في المجال الزراعي .

السماد لجزء كبير من وزنه خلال عملية التعفين وكذلك لجزء من المادة العضوية والنايتروجين حتى عند أفضل ظروف الخزن .

2000 lb. الوزن الكلي للسماد الطري

746 lb. خسارة الوزن بعد التعفن 63%

486 lb. المادة العضوية في السماد الطري

220 lb. الخسارة 55%

12.3 lb. محتوى السماد الطري من النايتروجين الكلي

9.9 lb. الخسارة 20%

6.2 lb. محتوى السماد الطري بالفسفور الكلي

6.2 lb.

لا خسارة بسبب التعفن

3.8 lb. محتوى السماد الطري للفسفور الجاهز

5.0 lb. الربح بسبب التعفن 32%

15.3 lb. محتوى السماد الطري من البوتاسيوم الكلي

16.3 lb. لاخسارة بسبب العفن

16.1 lb. نسبة $\frac{C}{N}$ في السماد الطري

9.1 lb. معدل الانخفاض 44%

السماد المعفن

السماد الطري

الشكل (1) تأثير عملية تعفن السماد خلال فترة (3) أشهر على مكوناته الكيمياوية(Shutt, 1955) بالمقارنة مع المكونات الكيمياوية للسماد الطري (السماد الحيواني عبارة عن خليط من سماد الابقار وسماد الخيول)

ويمكن استعمال المواد العضوية الاخرى او تصنيعها بحيث تصبح قابلة كسماد عضوي ومنها :

1- فضلات المراحيض

هي عبارة عن مواد براز الانسان الصلبة والسائلة استعملت منذ قديم الزمان في مناطق العالم ويحتاج لخزن هذا السماد اسلوب خاص حتى نتمكن من القضاء على البكتريا المسببة للامراض والديدان الطفيلية . كما أن تعرض فضلات المراحيض للهواء يفقدها قسماً من المواد السمادية وخصوصاً النايتروجين وكذلك خزنها في الحفر يجعل التربة تمتص قسماً من موادها السمادية .

وفي كثير من بلاد العالم بدأت صناعات خاصة بها ويجب ملاحظة جمعها في احواض محكمة كما أن اضافة الزبالة اليها تعجل من تخمرها وتحفظ القيمة السمادية لها .

2- فضلات مجاري المياه القذرة

تستعمل لاستخراج المادة العضوية منها وتعامل معاملة خاصة لأستعمالها كسماد عضوي كما تستعمل المياه عند فصلها للري اذ تحتوي على نسبة عالية من العناصر الغذائية وهذه الطريقة مستعملة في كثير من انحاء العالم كاوربا وامريكا واستراليا .

3- الزبالة (القمامة)

القمامة أو الزبالة هي ماتجمع من المخلفات والفضلات من البيوت والمعامل والمصانع والمجازر وغيرها . وتصنع بان تجمع هذه المواد وتعامل بالتسخين باضافة مواد كيمياوية او عدم اضافتها ثم تطحن وتعبأ في اكياس وتصدر الى الأسواق للبيع . وفي الاونة الاخيرة زاد الاهتمام في استخدام القمامة كاساس في تصنيع بعض الاسمدة العضوية .

4- الدم المجفف

يجمع الدم من المجازر وبالتسخين يجفف ثم يسحق ويستعمل كسماد أو علف للحيوانات . ويحتوي الدم المجفف على مادة عضوية تصل الى 76% ونسبة من النايتروجين قدرها 10% و 2% خامس اوكسيد الفسفور و 0.7% اوكسيد البوتاسيوم والمحتوى الرطوبي لهذا السماد قد يصل الى 12% وقد يمزج الدم المجفف مع الفضلات والعظام المسحوقة .

ولابد من الأشارة الى عدد آخر من الاسمدة العضوية المصنعة التي شاع استخدامها في المجالات الزراعية التطبيقية مثل السلج Sludge الذي هو عبارة

عن خليط من المخلفات الصلبة واحياناً تستخدم القمامة مع مواد كيمياوية كمصدر غذائي ومن خلال عملية التصنيع يتحدد محتوى هذا السماد من العناصر الغذائية الرئيسية والثانوية . او السماد العضوي البيتموس Peatmoss الذي يصنع ايضاً من خليط من المخلفات الصلبة كالقمامة والقش مع مواد كيمياوية كمصدر غذائي . وقد يستخدم طن واحد من المخلفات الصلبة الجافة لكي تعطي 2.5 طن من السماد العضوي الصناعي . وان متوسط محتوى الاسمدة الصناعية هي :

رطوبة 50-80%
مادة عضوية 10-15%
نايتروجين 5-30%
خامس اوكسيد الفسفور 5-10%
اوكسيد البوتاسيوم 0.4-1.0%

ثانياً : الأسمدة الخضراء

الاسمدة الخضراء تعني النباتات التي تزرع لأجل قلبها في الترب الزراعية او بقايا المحاصيل الزراعية التي تقلب في التربة والتي تعمل عند تحللها عمل الأسمدة الحيوانية بتزويدها التربة بالعناصر الغذائية بالأضافة الى مساهمتها في تحسين خواص التربة الفيزياوية . وتعتبر المحاصيل البقولية من اكثر الاسمدة الخضراء استعمالاً وذلك لسرعة تحللها وتزويدها العالي للتربة بالنايتروجين كما ان نسبة الكنين قليلة . تصنيف الاسمدة الخضراء للتربة المادة العضوية التي تعمل على زيادة أو تقليل المادة الدبالية في التربة تبعاً لنوعية النباتات المقلوبة في التربة وبالأخص نسبة $\frac{C}{N}$. وكذلك فان تحلل المحاصيل المقلوبة في التربة يؤدي الى تحرر ثاني اوكسيد الكاربون الذي يساعد على ذوبان بعض المعادن والاملاح في التربة . ولعمر النبات ومحتواه من البروتين أو الكاربوهيدريت تأثير في سرعة تحلل السماد الأخضر وكمية المواد الغذائية التي يضيفها للترب . لذا فان اختيار الوقت المناسب لقلب المحاصيل له أهمية كبيرة في تحديد مساهمته في تحسين خواص التربة الفيزياوية والكيمياوية ويفضل غالباً قلب المحاصيل البقولية عند ابتداء التزهير فيها . ومن المحاصيل التي تستعمل كسماد اخضر هي البرسيم واللوبيا والجت بعد ثلاث سنوات من زراعته .

إن من خصائص الاسمدة الخضراء قدرة المحاصيل النامية على استخلاص العناصر الغذائية الجاهزة واحياناً غير الجاهزة وامتصاصها لبناء انسجته المختلفة ومن ثم تعاد هذه العناصر من جديد بعد قلب السماد مع التربة لتضيف حالة جديدة في تحسين خصوبة التربة . وتساهم الاسمدة الخضراء ايضاً في زيادة تنشيط احياء

التربة الدقيقة من خلال تجهيزها بمستلزمات النمو . كما تساعد المحاصيل الزراعية النامية على خفض محتوى التربة من الاملاح الذائبة المختلفة وبهذا تتحسن ظروف النمو للمحاصيل الزراعية اللاحقة .

ولابد من الأشارة الى نقطة هامة هي الظروف المناسبة لقلب المحصول البقولي في التربة . ان لعمق القلب في التربة تأثيراً فعالاً في تحديد سرعة تحلل المحصول وكذلك نواتج التفاعل المتكون وهذا يعني ان عمق القلب يجب ان يكون ضمن حدود توفر التهوية الجيدة والمناسبة لنشاط احياء التربة التي تعمل على تحلل السماد وان زيادة العمق وبالأخص في الترب الطينية الثقيلة له انعكاسات سلبية في تكوين نواتج ضارة كالكحولات والغازات السامة التي تؤثر على نمو المحاصيل الزراعية اللاحقة . ان ربط خواص التربة الفيزياوية مع العمق المناسب في اختيار عمق قلب المحصول . كما ان لمحتوى التربة الرطوبي تأثيراً هاماً على تحديد مسارات عملية التحلل للاسمدة الخضراء . فالأجدر عدم اضافة مستويات عالية من الرطوبة بعد قلب السماد تجنباً لخلق ظروف لا هوائية وهذا يعني ضرورة وفرة مستوى مناسب من الرطوبة لتشجيع احياء التربة على عملية التحلل ويفضل فصل الربيع غالباً كوقت مناسب لقلب الاسمدة الخضراء تجنباً لظروف الحرارة العالية في فصل الصيف والرطوبة العالية في فصل الشتاء .

تحلل الأسمدة العضوية في التربة

عندما تضاف الأسمدة العضوية (الحيوانية أو النباتية) الى التربة تهاجم من قبل احياء التربة الدقيقة التي تعمل على تحللها . وتبدأ عملية التحلل اولاً على المركبات العضوية غير النايتروجينية والتي تنقسم وفقاً لسرعة تحللها الى قسمين هما :

(1) مركبات سريعة التحلل مثل السكريات والنشأ والسيليلوز والهيمسيليلوز والتي تكثر في النباتات الصغيرة (الحديثة التكوين) .
(2) مركبات بطيئة التحلل مثل الكنين والدهون والاصماغ وهذه تكثر في النباتات المسنة . وتكون نواتج التحلل هي CO_2 وماء وحوامض معدنية غالباً .

وتحتوي الأسمدة الحيوانية على نسبة ليست بالقليلة من هذه المركبات غير النايتروجينية (جدول ـ 1) . وإن زيادة محتوى الأسمدة الحيوانية من القش الذي يفرش في أرضية الأصطبل يؤدي الى زيادة هذه المركبات على حساب المركبات الأخرى . وهذا يعني أنَّ الفترة الزمنية اللازمة لتحلل المركبات غير النايتروجينية قصيرة جداً فقد أشار (Jenkinson, 1966) الى أنَّ حوالي (30

الى 33%) من محتوى السماد من الكاربون بقي بعد سنة واحدة من الأضافة وإن 19% من الكاربون بالنسبة للكاربون الكلي قد بقي بعد اربع سنوات من الأضافة في حين أنّ 50-60% من النايتروجين بالنسبة لمحتوى السماد من النايتروجين الكلي قد تحلل خلال السنة الاولى من الأضافة وإن تكوين الدبال يساعد على زيادة ثباتية المادة العضوية في التربة إذ وجد أنّ الفترة اللازمة لتحلله تستلزم وقتاً طويلاً يزيد عن 25 سنة .

أما المواد العضوية النايتروجينية التي تنقسم الى قسمين هامين :

(1) المواد النايتروجينية البروتينية التي تحلل مائياً بواسطة انزيمات متعددة لتكون في النهاية صور النايتروجين المعدنية .

(2) المواد العضوية النايتروجينية غير البروتينية مثل اليوريا وحامض اليوريك وغيرها التي سبق أن أشرنا الى جوانب تحللها لتكون في النهاية ايضاً صور النايتروجين المعدنية .

ان ماسبق ان اشرنا اليه عبارة عن جوانب من تحلل الأسمدة العضوية في الظروف الهوائية ولكن تختلف نواتج التفاعل في ظل ظروف اللاهوائية وقد أختصر (McCalla et al, 1970) نواتج تفاعل الأسمدة الحيوانية في الظروف الهوائية وكذلك اللاهوائية في (جدول 8) .

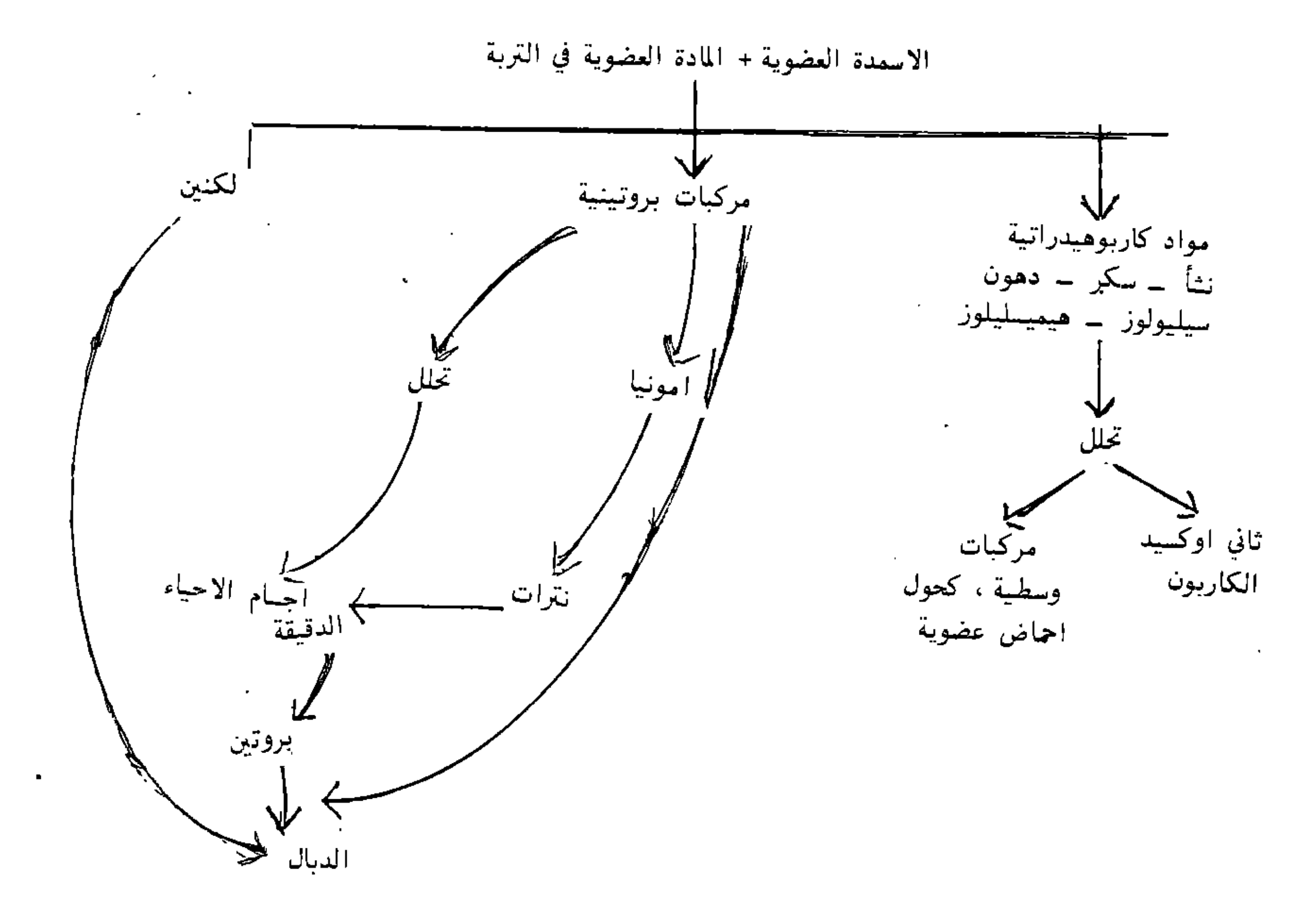
جدول (8) نواتج تحلل السماد الحيواني في ظل سيادة ظروف هوائية أو لا هوائية

مركبات الكاربون	مركبات النايتروجين	مركبات الفسفور	مركبات الكبريت
الظروف الهوائية			
غاز CO_2 + خلايا احياء التربة	NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-	$H_2PO_4^-$	$SO_4^=$

الظروف اللاهوائية			
CO_2	$NH_3 + N_2$	$H_2PO_4^-$	$H_2S + S^=$
+	+		
CH_4	Pyridines		
+	+		
احماض عضوية	Indoles		
+	+		
كحولات	Skatoles		
+			
خلايا احياء التربة	Amines		

أما تكوين الدبال بعد إضافة الاسمدة العضوية فيحتاج الى وقت لتحلل المركبات البسيطة التركيب وكذلك الأكثر تعقيداً كالنشأ ثم تبدأ مركبات الكنين والبروتينات المعقدة التركيب التي يصعب تحللها بسرعة بالتجمع لتكون الدبال. وقد يعرف الدبال على انه التركيب المعقد الذي يصعب تحلله من قبل الاحياء والمتكون من اتحاد الكنين مع البروتين مع نسبة من قواعد التربة الذي يتكون بعد ان يختفي التركيب الأصلي للمواد العضوية المضافة وتتحول بنية الى سوداء اللون. والدبال مادة غنية بالتركيبات الحقلية ويختلف نوع الدبال وكميته بأختلاف التركيب الكيمياوي والفيزياوي للمواد المتحللة كما يتوقف على نوع التربة وانواع الاحياء الدقيقة التي توجد فيها وعلى بعض العوامل الأخرى كدرجة الحرارة والرطوبة والتهوية والحموضة وغيرها. ويوضح (الشكل ـ 2) تكوين الدبال بعد عمليات التحلل للمواد المختلفة.

وللدبال أهمية كبيرة في التأثير على خواص التربة الفيزياوية والكيمياوية التي لا نتطرق اليها هنا ولكن يمكن الرجوع الى كتاب مبادىء كيمياء التربة ـ المرحلة الثالثة للوقوف على تلك الخواص. وعموماً فأن التربة تعتبر فقيرة في الدبال اذا أحتوت على اقل من 1% في الترب الرملية و 2% في الترب الطينية.



الشكل (2) مخطط يبين تكوين الدبال

العوامل الواجب مراعاتها عند اجراء عملية التسميد

إن الغرض من التسميد هو توفير العناصر الغذائية للنبات مما يؤدي الى زيادة الانتاج الزراعي . وكما سبق أن أشرنا (الفصل الاول) الى وجود عوامل متعددة تحدد طبيعة الانتاج وقد يقع ضمنها وفرة العناصر الغذائية فالتداخل بين عوامل الانتاج المختلفة ومدى توفرها له تأثيره على مدى استفادة أي محصول من العناصر الغذائية . ومن هذه العوامل التي تتداخل مع العناصر الغذائية وتؤثر بمحصلتها النهائية على إنتاج الحاصل : ـ .

1- تأثير التربة

إن لخصائص التربة الفيزياوية والكيمياوية تأثيراً كبيراً على مدى إستجابة التربة للتسميد وعلى السلوك الكيمياوي للسماد بعد إضافته . إن المحافظة على السماد وقدرته في تجهيز التربة بالعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات أي رفع خصوبة التربة وكذلك المحافظة على عدم تدهور عناصر السماد لا يتحققان الا بالتسميد الصحيح كماً ونوعاً مع معرفة دقيقة لتأثير خواص التربة وتأثرها بطبيعة السماد . فالكمية المطلوب إضافتها من أي سماد تتوقف اولاً على خصوبة التربة وبعد حساب دقيق لما تفتقر اليه التربة من عناصر غذائية يأتي دور تحديد الكمية اللازمة لسد النقص مع الوضع بنظر الاعتبار تأثير خواص التربة على السلوك الكيمياوي للسماد المضاف فمثلاً في الترب ذات القدرة التثبيتية العالية لأحد العناصر الغذائية نحتاج لإختيار أفضل الوسائل لعدم خسارة جزء كبير من السماد بحالة غير قابلة للامتصاص من قبل النبات . كما إن إرتفاع أو إنخفاض pH التربة عن الحد المذكور له تأثير كبير في أختيار اسلوب التسميد وكذلك نوع السماد . وقد أوضحنا في الفصول السابقة عدداً من الأختيارات المناسبة لتجنب تأثير تداخل خصائص التربة الفيزياوية والكيمياوية والبايلوجية على طبيعة التسميد . ولابد من القول إن التسميد الجيد يساهم في زيادة الحاصل والمجموع الجذري والخضري للنبات وبذلك يتخلف قسم كبير من اجزاء النبات في التربة فيزيد من المواد العضوية فيها وبالتالي المحافظة على خصوبتها .

2- تأثير الظروف البيئية

لا يوجد مايكن ان يقوم به الانسان في تغيير عوامل المناخ السائدة في المنطقة لذا عليه أن يكيف محاصيله وعملياته الزراعية حسب الظروف المناخية السائدة . فللحرارة مثلاً تأثير مباشر على تمثيل الغذاء واستهلاكه من قبل النبات . فدرجات

الحرارة المثالية لهاتين العمليتين تختلف باختلاف النباتات . كما إن للتباين بين درجات الحرارة ليلاً ونهاراً تأثيراً كبيراً على نمو النبات وخصوصاً على تلك التي تخزن النشأ منها . وبصورة عامة يمكن اعطاء كمية اكبر من السماد للنباتات في المناطق التي يكون ليلها بارداً ونهارها دافئاً على أن تكون العوامل الأخرى ملائمة للنمو .

أما تأثير الضوء الذي يحتاجه النبات لصنع غذائه ، فإن قلة الضوء تعمل على خفض احتياجات النبات من العناصر الغذائية وطلبه للسماد . وللماء دور هام في نمو النبات . فغالباً ماتضاف الأسمدة بحالة صلبة صعبة التناول المباشر من قبل النبات الا بعد ذوبانها بالماء . لذا فقلة الماء تحدد من كمية السماد التي يستفيد منها النبات وان إضافة أية كمية من السماد أكبر من قدرة ذوبانها بالماء تعتبر عديمة الفائدة .

3- تأثير المحصول

إن متطلبات النبات من العناصر الغذائية وقابليته لتمثيل الغذاء من العناصر الجاهزة في التربة أو المضافة بالتسميد أو بالاحرى الاستجابة الى معاملات التسميد تختلف من محصول الى آخر . فكمية العناصر الغذائية الممتصة خلال فترة النمو تتوقف على نوع المحصول والانتاج . وللصنف دور مؤثر في حساب الاحتياجات السمادية المطلوبة . فالاصناف الجيدة تحتاج الى كمية كبيرة من العناصر الغذائية ولا تصل الى اقصى انتاج الا بتوفر الغذاء . في حين لا تعطي الأصناف المحلية زيادة في الانتاج مهما اعطيت من كميات كبيرة من الاسمدة . ويمكن القول بأن زراعة الاصناف الحسنة والجيدة الانتاج بدون تسميد يعتبر امراً غير مربح . وقد درس (Kemmler, 1972) تأثير الصنف على الاحتياجات الغذائية المطلوب لانتاج وافر (جدول ـ 9) . وقد استنتج ان زيادة قدرة الصنف على الانتاج يعني زيادة قدرته الاستهلاكية من العناصر الغذائية .

جدول (9) تأثير صنف محصول الرز على كمية الانتاج والاستهلاك من العناصر الغذائية .

الصنف	انتاج الحبوب طن / هكتار	N كغم/ هكتار	P	K
محلي	2.8	82	10	100
TN1	8.0	152	37	270

جدول (10) كمية العناصر الغذائية التي تستنفذها المحاصيل المختلفة **(Fakin, 1972)**

المحصول	الانتاج طن / هكتار	كغم / هكتار						غم / هكتار		
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
الشعير (حبوب)	2.2	40	8	10	1	2	3	34	30	70
الشعير (قش)	2.5	17	3	30	9	2	5	11	360	60
الحنطة (حبوب)	2.7	56	13	14	1	7	3	33	100	160
الحنطة (قش)	3.8	22	3	33	7	4	6	11	180	56
الشوفان (حبوب)	2.9	55	10	14	2	3	6	34	134	56
الشوفان (قش)	5.0	28	8	75	9	9	10	34	–	330
الذرة الصفراء (حبوب)	9.5	150	27	37	2	9	11	66	100	170
الذرة الصفراء (قش)	11.0	110	19	135	29	22	16	55	1700	330
البرسيم	10.0	200	20	170	125	24	21	66	500	470
الجت	6.0	110	13	95	77	19	8	45	600	400
قصب السكر	75.0	110	27	250	31	26	26	–	–	–
التبغ (اوراق)	2.2	83	8	110	83	20	15	33	600	80
القطن (بذور)	1.7	45	11	14	2	4	3	66	120	350
البطاطا (درنات)	27.0	90	15	140	3	7	7	44	100	60
الطماطا (ثمار)	50.0	130	20	150	8	12	15	80	145	180
اللهانة	50.0	145	18	120	22	9	50	44	110	90

وبهذا فان لاختلاف نوع المحصول وصنفه تأثيراً هاماً في تحديد الكمية السمادية المطلوبة وذلك لاختلاف القدرة الاستهلاكية من العناصر الغذائية اللازمة لانتاج محدد من المحصول (جدول ـ 10 و 11) . ولكن هذه القاعدة قد لا تنطبق على جميع المحاصيل الزراعية . فالبقوليات مثلاً تستنفد كمية كبيرة من النايتروجين الا أنها تصنع معظم هذه الكمية بواسطة البكتريا المثبتة للنايتروجين والموجودة في العقد الجذرية .

جدول (11) كمية العناصر الغذائية التي تستنفذها المحاصيل المختلفة (Cooke, 1974) .

المحصول	الانتاج في الهكتار	N	P	K	Ca	Mg
		كغم / هكتار				
قصب السكر	88 طن قصب	45	25	121	–	–
الموز	45 طن ثمار	78	22	224	–	–
القهوة	1 طن قهوة	38	8	50	–	–
الشاي	1300 كغم اوراق جافة	60	5	30	6	3
فول الصويا	3.4 طن حبوب	210	22	60	–	–

وتوجد فائدة من معرفة الكمية التي يستنفذها اي محصول لانتاج كمية مناسبة من الحاصل في تقدير كمية العناصر الغذائية التي يتطلبها النبات ولهذا فانها تستخدم كدليل عملي في تقدير الاحتياجات السمادية المطلوبة .

4- تاثير العمليات الزراعية

مما لاشك فيه ان نجاح التسميد يتوقف على الاسلوب المتبع في تنفيذ العمليات الزراعية المختلفة . فيتوقف نجاح التسميد على نوع الدورة الزراعية المتبعة . وكما ان النباتات تختلف في متطلباتها من الماء والعناصر الغذائية كذلك تختلف باختلاف مفعول النبات السابق عليها . وان افضل النباتات السابقة هي ماكانت بقولية او كانت تترك خلفها تربة جيدة . فعند تسميد محاصيل الدورة الزراعية يجب الأخذ بنظر الاعتبار المحصول السابق وماأخذ من سماد . وفي كثير من الحالات يفضل

تسميد المحصول السابق ليستفيد من سماد المحصول الحالي. ومن أجل الدقة في حساب الاحتياجات السمادية يتطلب الأمر تقدير كمية العناصر الغذائية الجاهزة بعد كل محصول. ولا يفضل مواصلة زراعة محصول واحد في الارض نفسها بصورة متوالية غالباً خشية الاستنزاف الكبير لعناصر غذائية معينة بالاضافة الى خشية انتشار الحشرات والأمراض والأدغال.

إن النبات النشط يكون اكثر قابلية لمقاومة الأوبئة والادغال وفي بعض الحالات تستعمل الاسمدة كمواد كيمياوية لمكافحة الادغال وفي الوقت نفسه يستفيد منها النبات كسماد مثل اضافة سيناميد الكالسيوم. كما ان السماد يشجع على نمو النبات مبدئياً بسرعة فيسبق الادغال والأوبئة فيحمي نفسه منها.

كما ان زيادة عدد النباتات في وحدة المساحة يتطلب زيادة كمية الاسمدة المضافة لأجل الحصول على ناتج جيد. ولا يعني هذا الإضافة العشوائية بل المرتبطة والمحسوبة وفقاً لأحتياج النباتات من اي عنصر من العناصر الغذائية. ان زيادة الكثافة النباتية لها تأثير على تحديد كمية الماء المتيسرة وكذلك وحدة الضوء وان وضع هذه العوامل كاساس مرتبط مع المتطلبات الغذائية يبعد الضرر الناجم من الاضافات الزائدة من الأسمدة. أي ان الكمية السمادية المطلوب إضافتها عند زيادة عدد النباتات في وحدة المساحة يجب ان تكون كافية لدرجة مناسبة لأجل ان يكون مفعولها واضحاً وان تكون نسبة الزيادة في الحاصل تتناسب وزيادة السماد المضاف.

5- تأثير وقت اضافة السماد وطريقته

لأجل الحصول على الفائدة الكاملة من السماد المضاف ليس من المهم فقط أن نحدد نوع السماد وكميته الصحيحة بل أن نأخذ بنظر الاعتبار وقت الاضافة المناسب. وقد يكون هذا الامر بالغ الأهمية في الترب الفقيرة بمحتواها من العناصر الغذائية والمادة العضوية. كما إن لخصائص الأسمدة المراد إضافتها تأثيراً في أختيار الموعد الأضافة. وعلى الرغم من إننا تطرقنا الى جوانب أهمية أختيار الوقت والطرق المناسبة لأضافة الأسمدة المعدنية الكيمياوية في الفصول السابقة من هذا الكتاب الا اننا سنعرض هذا الموضوع من جديد لتبيان تأثير وقت الأضافة وطريقتها على عملية التسميد بالأسمدة المعدنية والعضوية. وسنتطرق اولاً الى ما يخص الأسمدة الكيمياوية المعدنية.

إن الغرض الرئيسي من إضافة الأسمدة الكيمياوية المعدنية هو تجهيز النبات بالكمية المناسبة من العناصر الغذائية وبشكل سريع وذلك لتعويض النقص الموجود

في التربة من تلك العناصر الغذائية . اذن يعتبر وقت الأضافة عاملاً هاماً لمدى استفادة النبات من عناصر السماد المراد أضافته . فالنبات يحتاج الى الفسفور في اول مراحل النمو ويجب ان يكون جاهزاً في التربة بعد ظهور البادرة وبكميات كافية ، لذا فإن أضافة أسمدة الفسفور قبل الزراعة بوقت قصير متجنباً حالة التدهور السريع التي قد ترافق اضافة الأسمدة الفوسفاتية التي تقلل من جاهزية الكمية المضافة .

أما النايتروجين فإن احتياج النبات اليه في بداية تكوين النمو الخضري ويستمر الأحتياج حتى آخر مراحل النمو ولكن بكميات تقل تدريجياً مع تقدم النبات في مراحل النمو . وبسبب سرعة فقد النايتروجين من التربة عند إضافته بهيئة صورة نترات أو امونيوم فإن أختيار طريقة تعدد الجرعة السمادية لها فائدة كبيرة للمحافظة على تجهيز مستمر للنبات . اما البوتاسيوم فيعتبر وسطاً بالنسبة للفسفور والنايتروجين وذلك حسب نوع وصنف المحصول ويمكن إضافته قبل الزراعة أو أثناء النمو . وهذا يعني ضرورة إضافة الاسمدة الفوسفاتية والبوتاسية قبل الزراعة وقليل من النايتروجين قبل الزراعة ثم يعقبه بالكمية الباقية أثناء النمو .

وعند الرغبة في استعمال سماد مركب يحتوي على كمية كبيرة من النايتروجين يجب ان يرتب وقت الاضافة بحيث تكون الفائدة من النايتروجين في أقصاها .

وقد يرتبط موعد الأضافة مع طريقة الأضافة بشكل مباشر . وطرق الأضافة المتعارف عليها هي :

(1) النثر السطحي ـ يوزع بصورة منتظمة فوق سطح التربة .
(2) الخلط مع طبقة الحراثة .
(3) التلقيم ـ وضع السماد في أخدود أو حفر جنب النباتات .
(4) رش النباتات بالمحلول للسماد الكيمياوي .

لجميع هذه الطرق ميزاتها وعيوبها وذلك حسب نوع السماد والمحصول وطريقة الزراعة وكذلك موسم الزراعة . فالطريقة الاولى تستعمل في الحالات التالية : ـ

(1) في الزراعة الكثيفة يجب عدم نثر السماد فوق النباتات أثناء وجود الندى في الصباح الباكر .
(2) عند زراعة الحاصيل الزراعية ذات الجذور السطحية .
(3) في الاراضي العالية الخصوبة .

(4) عند إضافة الأسمدة السائلة .
(5) عند إضافة الأسمدة بشكل مسحوق الى اراض تمتلك قدرة واطئة لتدهور السماد .

أما الطريقة الثانية التي يضاف فيها السماد ثم يخلط مع طبقة الحراثة وتستعمل : ـ
(1) في الترب المنخفضة الخصوبة .
(2) عند أختيار سماد بهيئة حبيبات كبيرة الحجم وقليل الذوبان .
(3) في الزراعة الكثيفة ـ وللمقارنة التفضيلية مع الطريقة الاولى فإن قلة معدل ذوبان السماد يعطي الارجحية للطريقة الثانية .
(4) في الاراضي القليلة المحتوى من الاملاح وكاربونات الكالسيوم والعالية المحتوى بالمادة العضوية .
(5) الى النباتات التي تكون مجموعاً جذرياً واسعاً .

وتستعمل الطريقة الثالثة وفقاً للآتي : ـ
(1) عند إضافة كمية محدودة من السماد .
(2) لتجاوز تثبيت الفسفور والبوتاسيوم وتطاير الأمونيا .
(3) عند زراعة الحاصيل بمروز أو عندما تكون المسافة بين النباتات واسعة .
(4) في الاراضي المنخفضة الخصوبة .
(5) الى النباتات التي لا تكون مجموعاً جذرياً واسعاً .

والطريقة الرابعة هي الرش وتستعمل في الحالات التالية : ـ
(1) لتجنب حالة التدهور السريع للسماد بعد إضافته للتربة .
(2) عند صعوبة امتصاص النباتات لبعض العناصر وخصوصاً النادرة فيعطى رشاً على النباتات ،
(3) عند تسميد مساحات شاسعة ، تعتبر طريقة الرش أسلوباً سريعاً للتسميد .
(4) لمعالجة اعراض نقص الأشجار من العناصر الغذائية الصغرى إذ تعتبر طريقة الرش كأسلوب معالجة سريع بسبب تعمق جذور الأشجار .
(5) بعد كبر النباتات يصعب إستعمال الطرق السابقة فنستعمل طريقة الرش .

أما ما يخص وقت اضافة الاسمدة العضوية وطريقتها ، فإن طبيعة السماد المراد استخدامه له أهمية خاصة في تحديد الوقت . فالسماد العضوي الطري يفضل اضافته غالباً قبل الزراعة بشهر أو شهرين لكي يتحلل ويستفيد منه النبات عند الزراعة كما يمكن اضافته بعد الزراعة الى النبات مباشرة في حفر أو أخاديد تعمل جنب النبات . وقد يتجنب اضافة هذا النوع من السماد العضوي في فصل الصيف الشديد

الحرارة وكذلك في بداية فصل الشتاء الممطر وذلك خشية خسارة الجزء الأكبر من عناصره المعدنية إما بالتطاير أو بفعل الغسل ويمكن اضافة السماد العضوي المتعفن اثناء الزراعة مع الحذر من ضرر غاز الامونيا المتحرر من السماد حتى عندما يكون محتوى هذا النوع من السماد من النايتروجين واطئاً .

تضاف الاسمدة العضوية وبالأخص المخلفات الحيوانية نثراً على سطح التربة وبشكل متجانس ثم تخلط مع العمق المناسب من التربة وذلك لزيادة فرصة تحلل السماد من قبل احياء التربة ولتقليل كمية الامونيا المفقودة من السماد (جدول ـ 12) . ان نثر السماد العضوي على سطح التربة فقط دون الخلط يسبب خسارة كبيرة لمحتوى السماد من النايتروجين إذ اكد (Salter & Schollenberger, 1939) من خلال نتائج 40 سنة تجارب حقلية هذا الاستنتاج (جدول ـ 12) . فقد عزا سبب هذه الخسارة للآتي :

(1) فقد الامونيا خلال مراحل تجفيف السماد بواسطة أشعة الشمس والرياح .
(2) تعرض السماد للغسل بفعل ماء المطر او الري .

جدول (12) تأثير حرث السماد العضوي مع التربة بعد أوقات مختلفة من الأضافة .

	الزيادة النسبية في الانتاج	
	الشوفان ٢٥ تجربة	البطاطا تجربة واحدة
السماد العضوي حرث مباشرة بعد الاضافة	100	100
السماد العضوي حرث بعد 6 ساعات من نثره سطحياً	86	79
السماد العضوي حرث بعد 24 ساعة من نثره سطحياً	70	73
السماد العضوي حرث بعد 4 يوم من نثره سطحياً	44	57

[illegible] الظروف المناخية العالية التطاير والغسل [illegible] (Iverson, 1932) في تجربة [illegible] أنه إذا ترك السماد العضوي على سطح التربة يفقد [illegible] كبيراً من محتواه النايتروجيني ويتوقف ذلك على الفترة الزمنية التي يترك بها وكذلك [illegible] اضافته (جدول 13) في حين [illegible] (Salter & Scholienbebger, 1940) [illegible] لا يقتصر على

النايتروجين بل على عناصر غذائية اخرى ووجد ان معدل فقد النايتروجين قد يتراوح بين 30-40% ، اما الفسفور فقد يتراوح بين 15-25% والبوتاسيوم من 40-60% من محتواها الكلي في السماد وهنا يؤكد اهمية خلط هذه الاسمدة بعد إضافتها مباشرة للتربة .

جدول (13) تأثير فترة نثر السماد على السطح على كمية النايتروجين المفقودة في اوقات زمنية مختلفة .

الفترة	كانون الاول	اذار	نيسان
ترك السماد لمدة 24 ساعة نثراً على السطح	2	3	21
ترك السماد لمدة 4 ايام نثراً على السطح	15	10	29

إن العمق المناسب لخلط السماد (العضوي) بالتربة يتحدد من خلال عدة عوامل هي الظروف المناخية وخصائص التربة وخصائص السماد . وعموماً فإنه قد أشارت نتائج عدد من الابحاث الى ضرورة اختيار العمق المناسب مع التأكيد على أهمية الخلط .

مما تقدم لا بد لنا من تحديد العوامل المؤثرة لأخذها بنظر الاعتبار عند اضافة الاسمدة للحصول على النتائج المطلوبة :

(1) استعمال كميات متوازنة من العناصر الغذائية وفقاً لاحتياج المحصول وما قد يتوفر منها في التربة بصورة جاهزة .
(2) اختيار الكميات والنوعية الصحيحة من السماد .
(3) اختيار الوقت المناسب للاضافة وكذلك الطريقة الصحيحة لزيادة كفاءة السماد .
(4) عند اختيار السماد يجب ربط الاختيار مع خصائص التربة والظروف البيئية المحيطة والمؤثرة على سلوكه الكيمياوي .
(5) تحسين خواص التربة من حيث التهوية والبناء والتركيب والاحتفاظ بالماء عن طريق العزق واضافة السماد العضوي .
(6) استعمال الاصناف الجيدة التي تستجيب الى التسميد والملائمة للمنطقة .
(7) استعمال بذور جيدة ونباتات قوية .
(8) مكافحة الادغال والامراض والحشرات التي تتعرض لها النباتات .
(9) استخدام الدورة الزراعية المنتظمة .

قائمة المصادر

1- Ames, J.W. and Gaither, E.W. (1955) In "McCalla et al (1970) Nebr. Exp. Sta. Publ.

2- Atkinson et al (1954) In "McCall et al (1970) Nebr. Exp. Sta. Publ.

3- Cooke, G.W. (1974) Cento Seminar on Fertilizer Analtical methods, Sampling and Quality Centrol, Pakistan.

4- Eakin, J.H. (1972) The fertilizer handbook, The Fertilizer Inst., Washington. 1-21.

5- Heck, A. Floyd. (1931) Soil Sci. 31: 335-359.

7- Jenkinson, D.S. (1966) J. Soil Sci. 17: 280-302.

8- Kemmler, G. (1972) Proc. VIIth Fertilizer world Congress, Vienna. 545-563.

9- Loehr, Raymond C. (1968) Pollution implications of animal wastes-a forward-oriented review U.S. Dept Interior. Fed Water Pollution Control Admin., Robert S. Kerr Water Res Center. Ada. Okla.

10- McCalla, T.M. and Boyce., J.C. (1969) In McCalla et al. (1970) Nebr. Exp Sta. Publ.

11- McCalla, T.M. and Viets, F.G. Jr. (1970) Nebr. Exp. Sta. Publ. In Press.

12- Midgley, A.R. and V.L. Weiser. (1937) vermont Agr. Exp. Sta. Bull. 419.

14- Salter, B.M. and Schollenber ger, c.j. (1940) Farm manure-part of the material appearing publis. U.S. Dept. Agri. P. 445-461.

15- Shutt, A. (1955) In "MaCalla et al (1970) Nebr Exp. Sta. Publ.

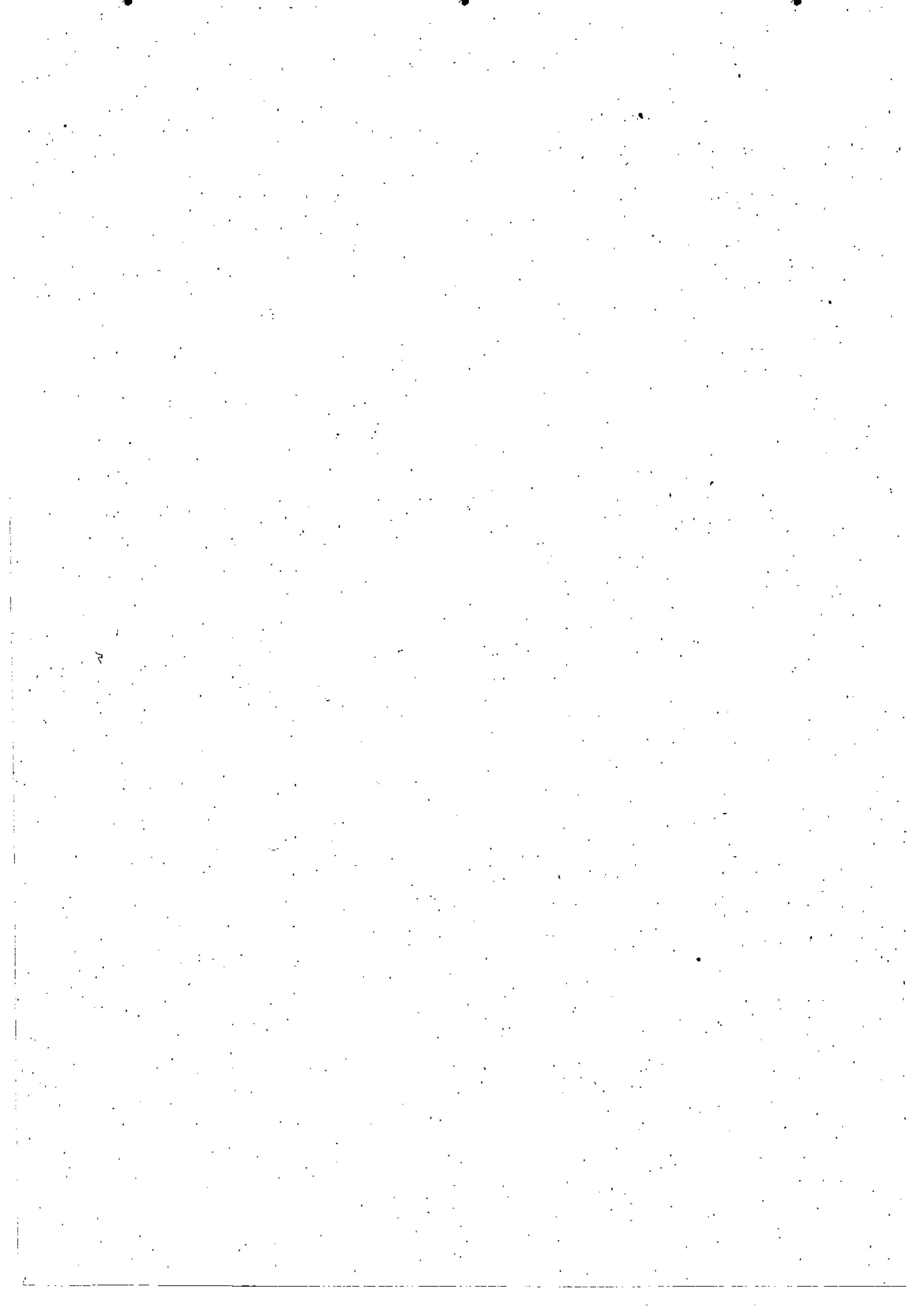
16- Waksman, Selman A. (1938) Humus: 2nd ed Baltimore. Williams and Wilkins.

فهرس المصطلحات العلمية

English	العربية
Accmulation of nitrogen	تجميع النايتروجين
Adsorption	امتزاز
Ammonification	عملية النشدرة
Ammonium fixation	تثبيت الأمونيوم
Ammonium volatilization	تطاير الامونيا
Anaerobic conditions	ظروف لاهوائية
Anhydrous ammonia	الامونيا غير المائية
Aqueous ammonia	الامونيا المائية
band application	طريقة التلقيم
Biotite	بايوتايت
Biuret	مادة البيوريت
broadcast apphication	طريقة النثر
Calcium Carbonate-Zn interaction	التداخل بين الزنك وكاربونات الكالسيوم
Calcium phosphate compounds	مركبات فوسفات الكالسيوم
Chlorapatite	كلوروأبتايت
Chlorite	كلورايت
Chlorapatite	كلوروابتايت
Concentrated superphosphate fertilizer	سماد السوبرفوسفات المركز
Crystalline Compounds	مركبات بلورية
Crystale growth	نمو البلورة
Desorption	عملية الانطلاق
Degree of weathering	درجة التجوية
Dicalcium phosphate	فوسفات ثنائي الكالسيوم
Dioctahedra mica	مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا
E-position	مواقع عند الحواف
Exchangeable potassium	البوتاسيوم المتبادل
Fixation of phosphate	تثبيت الفسفور
Fluorapatite	فلوروابتايت
Folair application	طريقة الرش

Fulvic acids	حوامض الفولفيك
Gapon coefficient	معامل جابون
Humic acids	حوامض الدباليك
Hydroxyapatite	هايدروكسي ابتايت
Immobilization	التدهور
I-position	مواقع بين الطبقات
Inorganic sulfate	كبريت معدني
Iron & aluminium phosphate compounds	مركبات فوسفات الحديد والالمنيوم
Isomorphous subsitution	الاحلال المتماثل
Limestone	صخر الكلس
Metastable triple point solution	المحلول غير المستقر
Mica	مايكا
Mineralization	عملية المعدنة
Montmorillonite	المونتموريلونايت
Mineral fertilizers	الاسمدة المعدنية
Nitrogen balance	الميزان النايتروجيني
Nitrogen cycle	دورة النايتروجين
Nitrogen Fertilizers	الاسمدة النايتروجينية
Nitrogen Fixation	تثبيت النايتروجين
Nitrogenase enzyme	انزيم النايتروجين
Non-exchangeabge potassium	البوتاسيوم غير المتبادل
octahedral layer	طبقة الاوكتاهيدر
Ordineray superphoshate fertilizer	سماد السوبرفوسفات العادي
Orthophosphoric acid	حامض الاورثوفوسفوريك
Oxidation-reduction processes	عمليات الاكسدة والاختزال
Parent material	مادة الاصل
P-forms in the labile pool	صور الفوسفور في الحيز غير المستقر
P-forms in the non-labile pool	صور الفوسفور في الحيز المستقر

Phosphorus acid	حامض الفسفوريك
P-position	مواقع على السطح
Reaction products	نواتج التفاعل
Sandstone	صخور رملية
Sea sediments	صخور رسوبية بحرية
Soil structure	تركيب التربة
Soluble potassium	البوتاسيوم الذائب
Stomata	الثغور
Strengite	السترنكايت
Speeific adsorption	الامتزاز النوعي
Sulphiote	الكبريتيد
Sulphideores	معادن كبريتيد
Super phosphate acid	حامض السوبرفوسفات
Tetrahedral layer	طبقة التترهيدرا
Tricalcium phosphate	فوسفات ثلاثي الكالسيوم
Trioctahedra mica	مايكا ثلاثية الاوكتاهيدرا
Tugor pressure	الضغط الانتفاخي للخلية
Urea	يوريا
Uric acid	حامض اليوريك
Variscite	معدن الفرسكايت

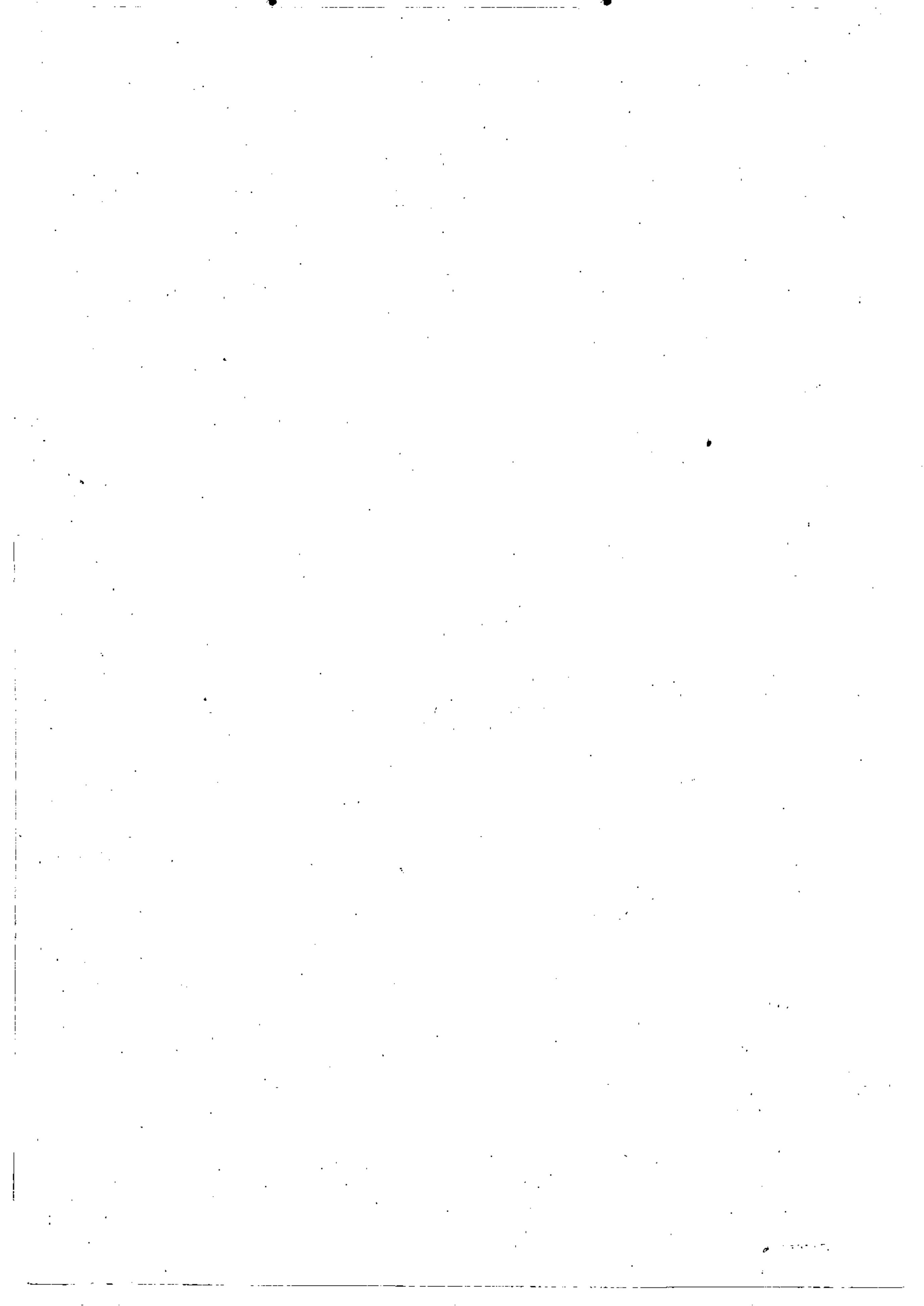


رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ١١٠٠ لسنة ١٩٨٧



رقم الإيداع في المكتبة الوطنية ببغداد ١١٠٠ لسنة ١٩٨٧

مديرية دار الكتب للطباعة والنشر
جامعة الموصل




مديرية دار الكتب للطباعة والنشر
جامعة الموصل